

Друковане видання ISSN 26166437
Онлайн видання ISSN 27089746

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВАДИМА ГЕТЬМАНА»

Збірник наукових праць «Моделювання та інформаційні системи в економіці» входить до переліку наукових фахових видань категорії «Б». Наказ Міністерства освіти і науки України № 886 від 02.07.2020 року.

Моделювання та інформаційні системи в економіці

Збірник наукових праць

Заснований у 1965 р.

№ 100

Головний редактор *О. Є. Камінський*

УДК 311:519.2:519.86

Редакційна колегія

О. Є. Камінський, д.е.н., доц. (гол. ред.); **В. В. Дем'яненко**, к.е.н., доц. (заст. гол. ред.); **С. Д. Потапенко**, к.е.н., доц. (відп. секр.); **З. П. Бараник**, д.е.н., проф.; **Г. І. Великоіваненко**, к.ф.м.н., проф.; **В. В. Вітлінський**, д.е.н., проф.; **В. К. Галіцин**, д.е.н., проф.; **Ю. А. Гладка**, к.ф.м.н., доц.; **І. А. Джалладова**, д.ф.м.н., проф.; **Лакатос Ласло**, д., проф. (Угорщина); **А. В. Матвійчук**, д.е.н., проф.; **О. В. Піскунова**, д.е.н., проф.; **С. К. Рамазанов**, д.т.н., д.е.н., проф.; **М. Ружичкова**, д., проф. (Польща); **М. І. Скрипниченко**, чл. кор. НАН України, д.е.н., проф.; **В. І. Скицько**, к.е.н., доц.; **О. П. Степаненко**, д.е.н., проф.; **Д. Я. Хусаїнов**, д.ф.м.н., проф.

*Адреса редакційної колегії: 04053 м. Київ, Львівська пл., 14
ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»
кімн. 413. Тел.: 537-07-42, 537-07-29*

*Засновник та видавець
Державний вищий навчальний заклад
«Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»*

*Засновано в Міністерстві юстиції України
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 11718589Р від 11.09.2006*

*Рекомендовано до друку Вченою радою КНЕУ
Протокол № 4 від 26.11.2020 р.*

*Художник обкладинки Т. Зябліцева
Коректор І. Савлук
Верстка О. Ковальчук*

*Підписано до друку 30.11.2020. Формат 60×84/16. Папір офсет.
Гарнітура Тип Таймс. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 10,22.
Обл.вид. арк. 11,64. Наклад 50 пр. Зам. № 20-5644.*

*Державний вищий навчальний заклад
«Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»
03680, м. Київ, проспект Перемоги, 54/1
Тел./факс (044) 537-61-41; тел. (044) 537-61-44
Email: publish@kneu.kiev.ua*

© КНЕУ, 2020

ЗМІСТ

Від редакційної колегії: до ювілейного 100-го випуску	5
Пам'яті вчителів	9
Твердохліб Микола Григорович	9
Валєєв Кім Галямович	11
Головач Анатолій Варфоломійович	13
Куценко Степан Петрович	15
Наконечний Степан Ількович	17
Ситник Віктор Федорович	19
Суслов Олег Павлович	21
Терехов Лев Леонідович	23
Химанич Юрій Федорович	25
Шарапов Олександр Дмитрович	27
Азутін М. М., Дем'яненко В. В., Потапенко С. Д. Математичне моделювання рекламного просування Веб-проекту	29
Бегун А. В., Осипова О. І., Урденко О. Г. Про одну з ситуаційних моделей управління інформаційною безпекою підприємства	39
Джалладова І. А. Системний аналіз загроз соціокібернетичної безпеки в умовах пандемії	50
Єрешко Ю. О., Товмасян В. Р. Модернізація фінансової політики підприємства: Імперативно-диспозитивний підхід	59
Загоровська Л. Г., Стрелець Є. В., М'якишило О. М., Харкянен О. В. Інформаційна технологія реалізації теоретико ігрового підходу в задачах ціноутворення харчового підприємства	70
Камінський О. Є., Політ Д. Г. Аналіз достовірності інформації щодо пандемії COVID19 в Україні (на прикладі світових агрегаторів даних)	83
Кисіль Т. М. Алгоритм функціонування інтелектуальної банківської системи	93
Корзаченко О. В. Еволюція моделей прийняття рішень: від класичної політекономії до біхевіористської економіки	103
Корзаченко О. В., Міщенко Д. С. Аналіз стратегій приймального користувачького тестування інформаційних систем	112
Круглова Н. В., Диховичний О. О., Дем'яненко О. О. Про оцінки точності моделювання звуження броунівського листа на частину кола в просторі <i>HSP</i>	123
Піскунова О. В., Водзянова Н. К., Панченко К. С. Моделювання сценаріїв стрес-тестування ринкового ризику методами векторно регресійного аналізу	138
Серденко Т. В. Вейлет аналіз у галузі захисту інформації	154
Шевчук Д. О., Мединський Д. В., Малярєнко Д. Л. Архітектура інтелектуальної авіаційної транспортної системи, що функціонує в умовах невизначеності	159

CONTENTS

From the editorial board to the 100th anniversary issue	5
In memory of teachers	9
<i>Tverdokhlib</i> Mykola Hryhorovych	9
<i>Valieiev</i> Kim Haliamovych	11
<i>Holovach</i> Anatolii Varfolomiiovych	13
<i>Kutsenko</i> Stepan Petrovych	15
<i>Nakonechnyi</i> Stepan Ilkovych	17
<i>Sytnyk</i> Viktor Fedorovych	19
<i>Suslov</i> Oleh Pavlovych	21
<i>Terekhov</i> Lev Leonydovych	23
<i>Khymanych</i> Yurii Fedorovych	25
<i>Sharapov</i> Oleksandr Dmytrovych	27
<i>Agutin M. M., Demyanenko V. V., Potapenko S. D.</i> Mathematical modeling of advertising promotion of a Web project	29
<i>Biehun A. V., Osipova O. I., Urdenko A. G.</i> About one of the situational models of the information security management of the enterprise	39
<i>Dzhalladova I. A.</i> System analysis of sociocybernetic security in a pandemic conditions	50
<i>Yereshko J. O., Tovmasian V. R.</i> Enterprise financial policy modernization: Imperativee dispositive approach	59
<i>Zahorovska L. H., Strelets Y. V., Miakshylo O. M., Kharkianen O. V.</i> Information technology for implementation of gametheoretical approach in pricing issues of food enterprises	70
<i>Kaminsky O. Y., Poliyit D. G.</i> Analysis of the reliability of information about the COVID19 pandemic in Ukraine (on the example of world data aggregators)	83
<i>Kysil T. M.</i> Operation algorithm of intellectual bank system	93
<i>Korzachenko O. V.</i> Evolution of decisionmaking models: from classical political economy to behavioral economics	103
<i>Korzachenko O. V., Mishchenko D. S.</i> Analysis of strategies of user acceptance testing of information systems	112
<i>Kruglova N. V., Dykhovychnyi O. O., Demianenko O. O.</i> On estimates of modeling accuracy for brownian sheet's restriction on the part of a circle in space <i>HSP</i>	123
<i>Piskunova O. V., Vodzianova N. K., Panchenko K. S.</i> Modelling of market risk stres-stesting scenarios using methods of vector-regression analysi	138
<i>Serdenko T. V.</i> Wavelet analysis in the field of information protection	154
<i>Shevchuk D. O., Medynskiy D. V., Maliarenko D. L.</i> Architecture of intelligent aviation transport system operating in conditions of uncertainty	159

ВІД РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ ДО ЮВІЛЕЙНОГО 100-ГО ВИПУСКУ

Шановні колеги, підготовлений до друку 100-й ювілейний номер збірника наукових праць «Моделювання та інформаційні системи в економіці», що свідчить про те що українська наука живе і розвивається. Від імені редакційної колегії дякуємо всім тим, хто впродовж років виявляв інтерес до видання Державного вищого навчального закладу «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»: публікував результати своїх наукових досліджень, сприяв поширенню серед науковців країни інформації про видання, надавав відгуки, критикував, одним словом дбав про те, щоб з кожним новим випуском збірник ставав краще, підвищував свою вагу серед молодих науковців і посилював роль науки у житті держави та суспільства.

Редакційна колегія збірника разом з колективом Навчально-наукового інституту «Інститут інформаційних технологій в економіці» згадує всіх, хто був причетний до цієї події починаючи з першого випуску.

Збірник наукових праць «Моделювання та інформаційні системи в економіці» має славетну історію, і був заснований у 1965 році в Київському інституті народного господарства імені Д. С. Коротченка Міністерства вищої та середньо-спеціальної освіти УРСР (з 2008 року Державний вищий навчальний заклад «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»), з метою «широкого ознайомлення наукових і практичних працівників з результатами досліджень і досягненнями передового досвіду використання обчислювальної техніки в народному господарстві». Тоді збірник наукових праць мав назву «Механізація учета и вычислительных работ» і друкував наукові праці вчених Радянського союзу та світу.

З випусками збірника можна ознайомитись у бібліотеці «ДВНЗ КНЕУ імені Вадима Гетьмана» та у провідних наукових бібліотеках України.

Одним із засновників збірника наукових праць «Механізація учета и вычислительных работ» та його незмінним головним редактором упродовж 37 років був професор М. Г. Твердохліб.

Збірник зазнав кількох змін своєї назви: з 1973 по 1993 він мав назву «Машинная обработка информации», а з 1993 по 1999 роки включно — «Машинна обробка інформації».

У 2000 році збірник отримав свою сучасну назву «Моделювання та інформаційні системи в економіці», а його головним редактором з 2003 по 2019 роки був професор Галіцин Володимир Костянтинівич.



Обкладинка першого випуску 1965 року

Збірник, починаючи з першого випуску, входив до переліку наукових фахових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з економіки. У 2020 році збірник наукових праць включено до «Переліку наукових фахових видань України» (Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 року №886), з присвоєнням категорії «Б» у галузі економічних наук, за спеціальністю — 051.

Основним завданням видання є створення платформи для поширення, обміну та структуризації наукової інформації, надання можливості оприлюднення результатів актуальних досліджень для науковців з України та інших країн; забезпечення відкритого доступу до наукових знань для вчених, студентів і зацікавлених професіоналів у сфері прикладної та фундаментальної економічної науки, економіко-математичного моделювання, системного аналізу, кібербезпеки, методів штучного інтелекту та експертних методів, цифрової трансформації економіки.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
От редакционной коллегии	3
В. Х. Русов, Количественные и качественные изменения в составе счетно-перфорационного комплекта	5
Н. Ф. Брызгалли, Новые счетные машины ГДР	11
С. П. Куденко, К вопросу о расчетах машино-счетных установок с заказчиками	16
И. И. Баралей, В. И. Семенов, Организация и совершенствование хозяйственного расчета на машиносчетной станции	25
М. О. Кошелев, А. О. Лишини, Опыт механизации учета спецдежды в эксплуатации	35
П. М. Скрипник, Особенности анализа себестоимости угля при комплексной механизации учетно-вычислительных работ	43
Н. Г. Чумаченко, В. Я. Жученко, Учет и анализ экономической эффективности внедрения новой техники с использованием счетных машин	48
П. И. Чуянов, Составление цеховых подетальных программ с применением счетно-перфорационных машин	61
Ю. Ф. Овчинников, Механизированный учет реализации продукции в совхозах	70
Н. Г. Твердохлеб, Вопросы совершенствования управления угольными шахтами с использованием вычислительной техники	81
Н. С. Рудькова, Некоторые оперативные расчеты материально-технического снабжения министерства с использованием электронно-вычислительной техники	92
В. П. Беспалов, К определению длительности цикла в агрегатно-сборочных цехах	103
В. Н. Неделев, Планирование оптимального состава машинно-тракторного парка колхоза с помощью ЭВМ	108
Л. Л. Терехов, Определение производственных мощностей методами линейного программирования	117
В. И. Кузубов, Составление оптимального плана автоперевозок строительных грузов методами линейного программирования	125
П. М. Романяков, Ю. П. Щедрадова, Использование математических методов и электронно-вычислительных машин для планирования работы автомобильного транспорта	136
В. А. Конопляцкий, Учет пролеживания материалов и текущий запас	144
	151

Зміст першого випуску 1965 року

Редакційна колегія видання приймає до розгляду наукові статті, які присвячені проблемам пояснення, моделювання, прогнозування економічних процесів, економіко-математичного моделювання підприємницької діяльності, оцінювання закономірностей формування та аналізу тенденцій розвитку і взаємозв'язків масових економічних, демографічних і соціальних явищ і процесів регіонального, галузевого, національного і глобального рівня, прикладним питанням застосування інформаційних технологій, цифрової трансформації економіки, методології наукових досліджень та економічної освіти.

Метою видання «Моделювання та інформаційні системи в економіці» є дослідження актуальних питань з математичного моделювання й інформаційних технологій та апробація теоретико-методичних розробок наукових шкіл сфери економіки та інформаційних технологій, за тематичними напрямками: інформаційні технології в економіці; інформаційні процеси в підприємництві та фінансово-економічній сфері; методи математичного та комп'ютерного моделювання широкого спектру техніко-економічних, соціальних, фінансових, екологічних і політичних процесів; методи та засоби забезпечення безпеки інформаційних та комунікаційних систем; теорія керування і прийняття рішень; статистика.

Механизация учета и вычислительных работ — одно из наиболее действенных средств серьезного повышения производительности труда управленческого персонала, резкого улучшения качества выполняемых работ, обеспечения достоверности информации и т. д. Именно поэтому так широко стали сейчас применяться вычислительные машины.

Однако то, что в этой области является достоянием для одних, долгое время остается неизвестным для других. Иногда случается, что где-то изобретают уже давно введенное в производство в другом месте. Кроме того, интересные мысли и проблемы, поставленные научными и практическими работниками, часто неизвестны широкой общественности. В силу определенных причин недостаточно популяризировались до сих пор и методы рационального использования вычислительной техники.

С целью широкого ознакомления научных и практических работников с результатами исследований и достижениями передового опыта применения вычислительной техники в народном хозяйстве и создан республиканский межведомственный научно-технический сборник «Механизация учета и вычислительных работ». Периодичность выпуска — два раза в год (I и III кварталы). Объем каждого сборника — 10 печатных листов.

В сборниках освещаются следующие вопросы:

1. Вычислительные машины.
2. Теория и практика организации и эксплуатации вычислительных установок и систем (машинно-счетных бюро и станций, вычислительных центров, централизованных систем и т. д.).
3. Теория и практика механизированной обработки экономической информации.
4. Совершенствование управления на базе применения вычислительной техники.
5. Применение математических методов с использованием электронно-вычислительных машин в экономике.

Привітання редакційної колегії першого випуску 1965 року

Відповідно до зазначеної мети, перед редакційною колегією поставлено завдання:

- сприяння оприлюдненню результатів наукових досліджень з математичного моделювання та інформаційних технологій в економіці;
- поширення вітчизняного та закордонного досвіду щодо функціонування суб'єктів цифрової економіки;
- забезпечення активізації та виконання наукових досліджень;
- акумулювання актуальної інформації щодо постіндустріальних змін і відповідних трансформаційних процесів для зацікавлених сторін економічних відносин;
- формування майданчику високоінтелектуальної творчості та апробації результатів наукових досліджень.

Наразі видання входить до міжнародних наукометричних баз Academic Resource Index, Google Scholar, Index Copernicus International (ICI), Citefactor і Національної бібліотеки імені В.І. Вернадського.

Редакційна колегія вітає авторів, читачів, наукову спільноту з ювілейним, 100-м випуском збірника наукових праць «Моделювання та інформаційні системи в економіці» та бажає всім творчої наснаги, успіхів у науковій праці, високих професійних здобутків.

Пам'яті вчителів

*«Подорож у тисячу миль, починається з першого кроку»
(Лао-Цзи)*

Твердохліб Микола Григорович



Твердохліб Микола Григорович (1926–2002) — доктор економічних наук, професор, засновник факультету ІСІТ. Один із фундаторів спеціальності «Організація механізованої обробки економічної інформації» та факультету з цією ж назвою був організатор і перший завідувач кафедри МОЕІ обліково-економічного факультету.

Народився в 1926 р. у селі, неподалік від м. Запоріжжя. Учасник ВВВ, під час служби в армії закінчив Всесоюзний заочний фінансовий інститут. Організував у м. Москві при «Міннафтотехпромі» першу в СРСР Госпрозрахункову машинолічильну станцію (МЛІС), яку очолював чотири роки. На прохання міністра А. Ф. Засядька був переведений до Мінвуглепрому, розробив і впровадив комплексну

механізацію обліку на шахтах.

Закінчив аспірантуру Московського державного університету імені М. Ломоносова, працював на кафедрі бухгалтерського обліку економічного факультету цього ВНЗ. У 1963 р. став організатором і першим завідувачем кафедри механізованої обробки економічної інформації КІНГ ім. С. Д. Коротченка.

Автор 12 підручників і навчальних посібників із грифами Мінвузів СРСР, УРСР, Узбецької РСР, десять монографій, зокрема восьми односібних, численних брошур і наукових статей. Підготував 30 кандидатів наук.

У 1963 р. в економіці України розпочалася ера використання електронно-обчислювальних машин.

І, згідно з Наказом Міністра вищої і середньої спеціальної освіти Української РСР від 24 травня 1963 р. № 279 від 30 травня 1963 р. № 123, у Київському інституті народного господарства було вирішено: «З метою поліпшення учбово-методичної і науково-дослідної роботи в галузі механізації та автоматизації обліку обчислювальних робіт і управління виробництвом... розділити з 1 вересня 1963 року кафедру бухгалтерського обліку і аналізу господарської діяльності на дві кафедри: «Бухгалтерського обліку та аналізу господарської діяльності» та «Механізації та автоматизації обліку та обчислювальних робіт». Так з'явилась одна з перших в Україні кафедр такого профілю.

У світі комп'ютерних систем і технологій все відбувається дуже швидко. Тож і кафедра надалі кілька разів змінювала назву. Впродовж тривалого часу вона була відома як кафедра організації механізованої обробки економічної інформації. Сьогодні її назва — кафедра інформаційних систем в економіці. Кафедра інформаційних систем в економіці була створена як випускова зі спеціальності «Механізація обліку і обчислювальних робіт».

Біля витоків наукової школи кафедри стояв відомий учений-економіст, д.е.н., проф. М. Г. Твердохліб, який, випереджаючи час, створив науковий базис для розроблення та підтримки функціонування інформаційних систем у економіці.

У 1965 році М. Г. Твердохліб був одним з засновників збірника наукових праць «Механизация учета и вычислительных работ», який має славетну історію і друкував наукові праці вчених Радянського Союзу, України і світу. Збірник зазнав кілька змін своєї назви — з 1973 по 1993 він мав назву «Машинная обработка информации», а з 1993 по 1999 «Машинна обробка інформації». У 2000 році збірник отримав свою сучасну назву «Моделювання та інформаційні системи в економіці», яку має і до тепер. Професор М. Г. Твердохліб був незмінним головним редактором збірника наукових праць протягом 37 років.

Ідеї Миколи Григоровича розвинули його учні: під його керівництвом було підготовлено та захищено дві докторські та 30 кандидатських дисертацій у галузі економіко-математичного моделювання інвестиційних процесів і їх інформаційної підтримки в різних сферах економіки.



Валеев Кім Галямович



Валеев Кім Галямович народився 29 квітня 1937 року у м. Ярославль. Закінчив Ленінградський державний університет. Учень відомого російського математика Четаєва Н.Г. У 24 роки захистив кандидатську дисертацію, в 29 років – докторську в галузі математики. Багато років працював в Київському авіаційному інституті завідувачем кафедри математики. Професор Валеев К.Г. — відомий учений, математик, доктор фізико-математичних наук, за вагомі досягнення в математиці отримав гранд Сороса. Під його керівництвом захистили докторські дисертації — 5 осіб і кандидатські — 40 науковців з різних країн світу. Автор 10 підручників і монографій,

а також більш ніж 700 наукових статей. Засновник наукової школи «Теорія стійкості та стабілізації систем диференціальних рівнянь з випадковим параметром», яка досі існує і продовжує розвиватися, відома у світі. Валеев К.Г. довгі роки очолював в КНЕУ кафедру вищої математики. Наймовірно викладав математику студентам інженерно-економічного факультету.

Був членом докторської ради в КНЕУ за спеціальністю: «Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці».

Багато уваги приділяв роботі з молоддю. Проводив найсучасніші лекції в будинку науки. Студенти мріяли готувати під його керівництвом доповіді на різні студентські конференції. Проведення багаточисельних наукових семінарів, конференцій, олімпіад було справою честі кожного його підлеглого.

Актуальність напрямів наукової школи «Теорія стійкості та стабілізації систем диференціальних рівнянь з випадковим параметром», безперечно тому що, найбільш адекватно реальні процеси відображають стохастичні моделі, які описуються стохастичними, диференціальними, різницевиими рівняннями, з випадковими початковими умовами або випадковими параметрами (зокрема, з марковськими і напівмарковськими коефіцієнтами з додатковою умовою на їх розв'язки).

Враховуючі важливість для досліджень вивчення питань стійкості, стабілізації і оптимізації динамічних систем, отримання надійного, обґрунтованого математичного апарату, який би у сукупності із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій, дозволяв би вирішувати різні проблеми в умовах невизначеності в різних сферах, привив до нового наукового напрямку в *галузі системного аналізу і теорії оптимальних рішень*.

Тематика наукових робіт знаходиться на межі теорії випадкових процесів, теорії стійкості та теорії оптимального керування. Розвивали цей

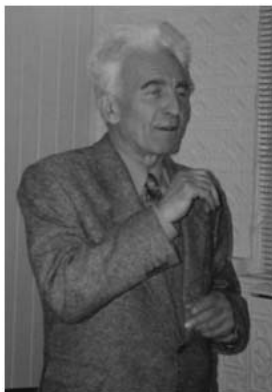
напряв А.М. Колмогоров, Д. Бертран, А.Я. Хінчін, Й.І. Гіхман, В.І. Зубов, М.М. Красовський, В.С. Королюк, І.М. Коваленко, Р.Л. Стратонович, Р.Е. Сараген, К. Іто, А.М. Тихонов, Д.Г. Коренівський, В.Б. Колмановський, Р.З. Хасьмінський, А.В. Скороход, Р. Беллман, Л.С. Понтрягін, І.Я. Кац, Г. Дж. Кушнер, Є.А. Лідський, В. Вінер, Р.Е. Калман, М.Ф. Кириченко, Самойленко А.М., К.Г. Валеев та його учні.

З урахуванням досягнень цих і багатьох інших вчених, введені нові поняття, які дають змогу розв'язувати прикладні задачі на стійкість динамічних стохастичних систем з використанням методів функцій Ляпунова та знаходження оптимального керування нелінійними системами диференціальних та різницевих рівнянь.

Неодноразово праці Валеева К.Г. та його учнів друкувались у збірнику на протязі 55 років його існування.



Головач Анатолій Варфоломійович



Анатолій Варфоломійович Головач — український економіст, доктор економічних наук, професор кафедри статистики, академік Академії наук Вищої школи України. Народився А.В. Головач 23 грудня 1930 р. у місті Дніпропетровську. У 1952 р. закінчив з відзнакою Всесоюзний Інститут радянської торгівлі. З 1950 р. працював референтом Інституту економіки Академії наук УРСР. З 1952 — 1954 рр. — у Держплані Ради Міністрів УРСР, у 1954 — 1965 рр. — у Всесоюзному Науково-дослідному інституті торгівлі і громадського харчування. У 1961 р. захистив кандидатську дисертацію. З 1965 р. працював в Київському інституті народного господарства, де обіймав посади доцента, завідуючого кафедрою, професора кафедри статистики. В 1972 р. захистив докторську дисертацію. Професор Головач А.В. очолював кафедру економічної статистики до її об'єднання у 1988 році з кафедрою загальної теорії статистики і продовжував очолювати об'єднану кафедру статистики ще 10 років.

На основі фундаментальних досліджень у галузі теорії статистики та досвіду практичної роботи А. В. Головач започаткував школу прикладної статистики економічного напрямку, головною метою якої є побудова статистичного забезпечення управління економікою. Сформував теоретико-методологічні основи банківської та прикладної статистики, а також курс «Статистичне забезпечення управління економікою», за якими у 2001—2005 рр. видані навчальні посібники. Багато уваги приділяв роботі з молоддю. Студенти готувати під его керівництвом доповіді на різні конференції.

А. В. Головач — автор чотирьох монографій, семи підручників і навчальних посібників, понад ста проблемних статей у відомих фахових виданнях України та за кордоном. Він започаткував діяльність проблемних лабораторій в університеті. Зокрема на кафедрі статистики під його керівництвом була створена лабораторія Міністерства освіти України з аналізу та планування потреби економіки у спеціалістах з вищою освітою. Результатом цих досліджень став фундаментальний аналіз і прогноз Мінвузу України потреби у фахівцях.

Протягом багатьох років планування набору студентів різних спеціальностей здійснювалось Мінвузом з урахуванням рекомендацій, викладених у монографії «Экономико-статистический анализ и прогнозирование потребности народного хозяйства в специалистах» та інших науково-практичних працях, виданих наприкінці 1990-х років під керівництвом А. В. Головача.

Під керівництвом Анатолія Варфоломійовича Головача підготовлено двадцять науковців вищого рівня. Учні Анатолія Варфоломійовича успішно працюють у вищих навчальних закладах, науково-дослідних інститутах, органах державного управління і передусім — у системі Держстатистики України.

Неодноразово праці Головача А.В. та його учнів друкувались у збірнику упродовж 55 років його існування.

Протягом тривалого часу А. В. Головач очолював роботу Спеціалізованої Вченої Ради Київського національного економічного університету та був членом Спеціалізованої Вченої Ради Київського національного торговельно-економічного університету.

За сумлінну плідну працю у підготовці та вихованні фахівців — статистиків, за багатогранну наукову діяльність та величезну громадську роботу А.В. Головач нагороджений Орденом «Знак Пошани» (1986 р.), Почесною відзнакою «Высшая школа СССР» (1987 р.), Медаллю «В пам'ять 1500-річчя Києва», Медаллю «Ветеран праці», Почесною відзнакою «Відмінник освіти України» (1991 р.), медаллю «За доблесну працю у Великій Вітчизняній війні 1941—1945 рр.» (1996 р.), Відзнакою «Заслужений працівник КНЕУ» (2000 р.), медаллю «Захиснику Вітчизни» (2002 р.), Відзнакою «Почесний працівник статистики України» (2005 р.).

Неодноразово праці Головача А. В. та його учнів друкувались у збірнику на протязі 55 років його існування.



Куценко Степан Петрович



Куценко Степан Петрович — видатний учений та організатор науки, доктор економічних наук, професор, академік УкрАІН. У науці існують непересічні особистості, на долю яких випадає відкривати нові наукові напрями, які формують плацдарм для проведення наукових досліджень цілій армії науковців та дослідників. Ще на початку 60-х років минулого століття Степаном Петровичем було започатковано новий науковий напрямок, пов'язаний із формуванням, становленням та розвитком інформаційної індустрії як самостійної та специфічної галузі економіки. Його ідеї, що значно випереджали свій час, надалі були підтримані іншими вченими і підтвердились реальним розвитком подій — інтенсивним розвитком інформаційного бізнесу, формуванням світового інформаційного ринку, кардинальним впливом інформаційних технологій на усі сфери людського життя і, врешті-решт, формуванням інформаційного суспільства провідними країнами світу, до яких долучилася й Україна, яка в останні роки робить значні кроки на шляху інтенсифікації цього процесу. Про це свідчить Закон України «Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки», прийнятий 9 січня 2007 року N 537-V.

З ім'ям Куценка Степана Петровича пов'язано дослідження організаційно-економічних та управлінських аспектів ефективного використання інформаційних технологій і систем в управлінні економічними об'єктами.

Він чітко уявляв перспективи застосування обчислювальної техніки і кібернетики в суспільстві, передбачав зміну впливу інформації та інформаційних процесів на ефективність діяльності господарюючих суб'єктів, тож і запропонував створити магістерську програму «Управління інформаційною діяльністю». На жаль смерть раптово обірвала його життя 20 грудня 1994 року, тому відкриття популярної серед студентів нової магістерської програми з назвою «Інформаційний менеджмент» вже здійснювали його учні та послідовники.

Куценко С.П. був не лише видатним ученим, але й талановитим організатором кібернетичної науки та інформатики. Власне йому належить ідея створити факультет машинної обробки економічної інформації (нині Навчально-науковий інститут «Інститут інформаційних технологій в економіці»).

Він був деканом цього факультету, завідувачем кафедри організації та проектування обчислювальних установок і систем (так раніше називалась кафедра інформаційного менеджменту), проректором з навчальної

роботи і ректором нашого університету, який у той час називався Київський інститут народного господарства.

Під керівництвом проф. Куценка С.П. була створена наукова школа, яка виховала провідних фахівців для народного господарства, науки та навчальних закладів не тільки України, республік колишнього Радянського Союзу, а й багатьох зарубіжних країн, таких як Польща, Чехословаччина, Угорщина, Німеччина, Куба, Болгарія, Китай, Корея, країни Латинської Америки та Африки, Арабські країни.

Результати наукових досліджень під керівництвом Куценка С.П. та його учнів знайшли відображення у численних монографіях, підручниках, посібниках, наукових статтях і доповідях на республіканських і міжнародних науково-практичних конференціях і семінарах, понад десять докторських і близько ста кандидатських дисертацій та сприяли підготовці великої кількості провідних фахівців для народного господарства, науки, навчальних закладів.

Неодноразово праці Куценка С.П. та його учнів друкувались у збірнику на протязі 55 років його існування.



Наконечний Степан Ількович



Наконечний Степан Ількович — професор, завідувач кафедрою економіко-математичних методів, народився в 1939 році на Львівщині. У 1962 році закінчив механіко-математичний факультет Львівського державного університету ім. Івана Франка за спеціальністю математика.

До Києва приїхав за направленням. Так серед перших аспірантів створеної в 1964 році кафедри економіко-математичних методів тодішнього Київського інституту народного господарства імені Д.С. Коротченка (нині — це КНЕУ імені Вадима Гетьмана), з'явився і молодий викладач Наконечний Степан Ількович.

Кандидатську дисертацію захистив у 1968 році в спеціалізованій Вченій раді Київського інституту народного господарства ім. Д. С. Коротченка за спеціальністю «Математичні методи і використання обчислювальної техніки в економічних дослідженнях, плануванні та управлінні народним господарством і його галузями».

Невдовзі став доцентом і одним із провідних викладачів кафедри. У 1999 Степан Ількович отримав атестат професора. Стаж педагогічної роботи Наконечного С. І. майже 50 років.

З жовтня 1989 року по вересень 2005 року він працював на посаді завідуючого кафедри економіко-математичних методів КНЕУ.

Необхідно зазначити, що кардинальні суспільно-економічні зміни другої половини 80-х — початку 90-х років ХХ століття — перебудова, здобуття Україною незалежності, подальший її розвиток як держави з ринковою економікою — зумовили необхідність відповідних змін і в економічній освіті.

З ініціативи С.І. Наконечного та за його участі викладачами кафедри було створено курси лекцій з Економетрики, Економіко-математичних методів та моделей. Матеріал, який викладається в межах цих курсів, формує у студентів систему знань щодо принципів моделювання економіки, методів оптимізації економічних процесів, кількісного аналізу, взаємозв'язків між економічними показниками, прийняття рішень в умовах невизначеності та конфліктності. Студенти-бакалаври факультету економічних систем і технологій отримали можливість дістати ґрунтовні знання, необхідні в їх подальшій роботі, вивчаючи курси: «Теорія випадкових процесів», «Дослідження операцій», «Прогнозування соціально-економічних процесів», «Моделювання економіки», «Ризикологія». Як завідувач кафедри ЕММ, Наконечний С. І. став організатором і активним розробником повного методичного забезпечення навчальних курсів (чотири дисципліни) економіко-математичного циклу на бакалаврському

рівні, сімох економіко-математичних дисциплін на магістерських програмах. Під керівництвом Наконечного С. І. вперше в Україні розроблено магістерську програму «Системний аналіз та моделювання економічних процесів».

Наконечний С. І. є автором нових лекційних курсів магістерського циклу «Методи і моделі прийняття рішень в аналізі та аудиті» та «Моделювання інноваційно-інвестиційних процесів» і їх методичного забезпечення, був ініціатором уведення до навчального плану дисципліни «Економічний ризик і методи його вимірювання», яку під назвою «Ризикологія» викладають в усіх економічних вишах України; підготував з цієї дисципліни навчально-методичне забезпечення (два підручники з грифом МОН, програму і дві методичні розробки).

С.І. Наконечний підготував понад 20 кандидатів економічних наук. Протягом багатьох років був членом редколегії збірника наукових праць «Моделювання та інформаційні системи в економіці».

Наконечний С.І. нагороджений низкою почесних грамот і почесними знаками МОН України. Степан Ількович — людина великої душі, допомагав словом і ділом багатьом людям, залишився в пам'яті колег і друзів.

Перелік друкованих праць С. І. Наконечного має 192 назви, зокрема, 54 навчально-методичних і 113 наукових; під його керівництвом і за безпосередньою участю підготовлено 14 підручників і навчальних посібників, 12 із яких мають грифи МОН.

Неодноразово праці Наконечного С. І. та його учнів друкувались у збірнику упродовж 55 років його існування.



Ситник Віктор Федорович



Ситник Віктор Федорович — професор, доктор економічних наук, академік АН ВШ України був непересічною людиною. Слід тільки подивитись на його автобіографію. Він народився 6 грудня 1935 року на хуторі Калинівка села Вербівка Кам'янського району Черкаської області в родині селян-колгоспників. Його дитинство було дуже важким, коли було 6 років почалася Велика Вітчизняна війна, батька забрали на фронт, а його мама залишилась з трьома синами, старшим серед яких був Віктор. Хутір, на якому жила сім'я, був розташований на лінії оборони, яку займали німецькі війська під час Корсунь-Шевченківської битви, тому будинки були спалені і всі жителі взимку залишилися без даху над головою. Коли ранньою весною 1944 року, після завершення завершилась Корсунь-Шевченківської битви, сім'я повернулася з сусіднього села, де тимчасово проживала у родичів, то побачила на місці їх будинку згарище, де стояла лише дивом уцілівши піч. Разом з мамою він 10 річним хлопцем ходив розбирати німецькі бліндажі і заготовлювати дерево на будівництво нового будинку, який вони збудували за літо. Він був ще дитиною, але вважав себе дорослим і відповідальним за молодших братів. Тож не дивно, що все подальше своє життя він був ініціативним, брав відповідальність за прийняття рішень. Одним словом він був лідером, якого поважали, на якого ривнялися колеги.

Можливо хтось подумає, що ці деталі є зайвими в описі майбутнього науковця і педагога. Але це ті важливі фактори, які формували характер Ситник В.Ф., його відношення до справи та до колективу.

Середню школу Ситник В.Ф. закінчив в 1954 році у віці 19 років, потім служба в армії 1954-1956 роки. В 1957 році з другої спроби він поступив на механіко-математичний факультет Київського університету імені Тараса Шевченка, котрий закінчив в 1962 році. Працюючи на посаді інженера в науково-дослідному інституті «УКРНДІПРОЕКТ» (м. Київ), паралельно вступив до заочної аспірантури і в 1966 році достроково захистивши кандидатську дисертацію став кандидатом технічних наук. З 1967 р. до 1971 р. працював керівником сектору Українського філіалу НДІ планування і нормативів при Держплані СРСР. В 1971 році перейшов за конкурсом на роботу в Київський університет імені Тараса Шевченка, де працював на факультеті кібернетики спочатку доцентом, а потім професором кафедри економічної кібернетики. В 1973 році захистив докторську дисертацію, став доктором економічних наук за спеціальністю «Застосування економіко-математичних методів і обчислювальної техніки в народному господарстві і його галузях». В цьому університеті отримав учені звання спочатку доцента, а згодом — професора.

З січня 1978 року до червня 1980 року працював в системі вищої освіти Республіки Куба. За 9 місяців самостійно вивчив іспанську мову,

на якій читав лекції і проводив іншу роботу. Підготував для Куби одного доктора наук і трьох кандидатів. Опублікував іспанською мовою підручник «Математичне програмування», та декілька наукових праць.

В 1983 році Ситник В.Ф. був запрошений на роботу на посаду завідувача кафедри «Інформаційні системи в економіці» (ІСЕ) Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана, де працював по січень 1997.

Доктор економічних наук, проф., Ситник Віктор Федорович працював в університеті на посаді завідувача кафедри ІСЕ 24 роки. Ситник В.Ф. був заслуженим працівником КНЕУ, відмінником освіти України. В 1994 році був обраний академіком Академії наук вищої школи України, де очолював науковий напрямок, присвячений розробці і застосуванню інформаційних систем і математичних методів у менеджменті.

Він автор більше ніж 160 наукових праць, в тому числі 18 монографій і навчальних посібників. Ситник В.Ф. був членом редколегій трьох періодичних наукових збірників, експертної ради з національної безпеки ДАК України, двох рад з захисту дисертацій. За період наукової роботи Ситник В.Ф. підготував 4 доктори і 25 кандидатів економічних наук. Ним вперше в Україні були опубліковані підручники з такого наукового напрямку як комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень, по яких зараз навчаються студенти усіх українських вузів. Ним була створена за цим напрямом наукова школа.

Ситник В.Ф. був початківцем і засновник багатьох нових навчальних дисциплін, зокрема за його ініціативи в учбовому процесі була запроваджена дисципліна «Інтелектуальний аналіз даних» (дейтамайнінг) і видано одноіменний навчальний посібник.

Професор Ситник В.Ф. був керівником магістерської програми «Інформаційні системи в менеджменті», за його ініціативою і безпосередньою участю в КНЕУ відкрита комп'ютерна спеціальність «Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень», яка згодом трансформувалась в спеціальність «Комп'ютерні науки». Ситник В.Ф. був високо кваліфікованим педагогом і науковим працівником, за його ініціатив проводилися щорічні міжнародні науково-практичні конференції, Всеукраїнські студентські наукові конференції і олімпіади. Зокрема він був ініціатором і організатором Всеукраїнської наукової студентської конференції „ІС в економіці та бізнесі», яка з тих пір щорічно проводиться на нашій кафедрі і набула на сьогоднішній день статус міжнародної.

Ситник В.Ф. відносився до кафедри як до великої родини, був вимогливим і справедливим. Він згуртував колектив, який відчувши його підтримку і допомогу почав досягати великих успіхів в роботі.

Добра пам'ять про Ситника В.Ф., як про видатну людину, справжнього вченого, генератора наукових ідей і педагога жива, бо лише серед членів кафедри 8 викладачів є його учнями, які захистили кандидатські дисертації під його керівництвом. За розробленими ним навчальними програмами і підручниками навчаються і досі наші студенти.

Неодноразово праці Ситника В.Ф. та його учнів друкувались у збірнику на протязі 55 років його існування.

Суслов Олег Павлович



Суслов Олег Павлович — видатний український вчений, економіст, видатний освітянин. Народився 10 березня 1937 року в сім'ї менеджера російсько-японської торговельної компанії. У 1955 році закінчив середню школу № 31 у місті Миколаїв. Під час навчання проявляв різнобічну цікавість до спорту, наук, мистецтва. У 1955 розпочав навчання на Фізико-математичному факультеті Одеського державного університету імені І. І. Мечнікова. Під час навчання в університеті активно займався баскетболом, гандболом, парашутним спортом та стрибками у висоту. Успішно поєднував навчання в університеті з активною суспільною роботою — очолював загін з будівництва політехнічних майстерень фізико-математичного факультету. У 1961 році закінчив навчання в Одеському державному університеті ім. І. І. Мечнікова по спеціальності «Математика» та отримав присвоєння кваліфікації «Математика. Обчислювальна математика.».

Свою трудову діяльність розпочав у Інституті гірничої справи Академії Наук України де працював за своєю спеціальністю в обчислювальній лабораторії. Наукову діяльність розпочав у складі нормативно-дослідницької лабораторії комбінату «Донецьк вугілля». Був головою ради молодих вчених Донецького наукового центру. Працював в обчислювальній лабораторії Інституту гірничої механіки і технічної кібернетики. Працював старшим науковим співробітником в Інституті економіки промисловості Академії Наук України та завідував одним з відділів Науково-дослідного інституту інформатизації та моделювання економіки. Наукові інтереси стосувались математичного моделювання економічних процесів. Під керівництвом видатного вченого, доктора фізико-математичних наук, академіка Академії Наук УРСР В. С. Міхалевича підготував та захистив дисертацію на отримання наукового ступеню доктора економічних наук на тему «Проблеми моделювання розвитку гірничо-видобувних підприємств». Педагогічна діяльність пов'язана з гірничо-металургійною академією у місті Острава Чехословаччини, де він працював над виданням спільного збірника наукових праць «Проблеми управління великими народногосподарськими об'єктами» та читав лекції. Свою активну педагогічну діяльність розпочав у Київському інституті народного господарства ім. Д. С. Коротченка де очолював кафедру економіко-математичних методів, був деканом інженерно-економічного факультету, професором кафедри інформаційного менеджменту. За роки науково-педагогічної діяльності опублікував 210 наукових праць, серед яких 20 монографій та три навчальні посібники.

Працюючи в Київському інституті народного господарства ім. Д. С. Коротченка, Київському державному економічному університеті, а згодом у Державному вищому навчальному закладі «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» був членом редакційної колегії фахового збірника наукових праць «Моделювання та інформаційні системи в економіці». Був членом спеціалізованих вчених рад ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана» та в Міжнародному науково-навчальному центрі інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України.

За видатні внески у становлення та формування сучасної економічної науки нагороджений ювілейною медаллю «За доблесну працю та срібною медаллю ВДНГ СРСР «За досягнення у народному господарстві СРСР» за впровадження системи оптимального планування виробництва на рудниках Кривбасу, нагороджений дипломом першого ступеню виставки досвіду в народному господарстві УРСР за розробку та впровадження комплексних систем планування та управління виробництвом, нагороджений пам'ятною медаллю НДІІ Мінекономіки України «За внесок в економічну науку» на честь 70-річчя з дня народження.

На жаль, 28 липня 2019 року, Олег Павлович пішов з життя. Але його справа жива і його наукові інтереси продовжують розвивати його учні — за роки наукової роботи ним було підготовлено 35 кандидатів наук та 4 доктори наук для яких він був науковим керівником, науковим консультантом, і, часто, просто другом та наставником у житті.



Терехов Лев Леонідович



Лев Леонідович Терехов — доктор економічних наук, професор, відомий вчений і педагог народився в Москві в родині кубанського козака. У п'ять років залишився без батька, який був репресований і розстріляний у 1938 р.

Попри опалене війною дитинство, Лев Леонідович закінчив середню школу з золотою медаллю, вступив до Московського електротехнічного інституту зв'язку, навчання в якому завершив з відзнакою, став аспірантом Московського фінансового інституту, відчувши потяг до науки. Уже перша аспірантська наукова праця Л.Л. Терехова: «Применение математических методов в экономике», що

вийшла друком у 1962 р., була перекладена й видана в 1964 р. в Угорщині.

Вважають, що першою математичною моделлю в економічній науці була бухгалтерська таблиця італійського математика Луки Пачоллі (1445-1514 рр.). Систематичне використання методу математичного моделювання в економічних дослідженнях пов'язане з науковими працями відомого французького математика та економіста О. Курно (1801-1877 рр.). Потреби економічної науки та практики викликали в першій половині ХХ століття виникнення низки наукових напрямів у економіко-математичному моделюванні, серед яких вважливе місце посідає математичне програмування, значний внесок у розвиток якого зробив відомий радянський вчений, лауреат Нобелівської премії в галузі економіки, академік Л. Канторович.

На початку 60-х років ХХ століття Л.Л. Терехов переїхав до Києва, де й продовжив свою наукову й викладацьку діяльність в Київському інституті народного господарства на посадах доцента, професора, завідувача (1966-1976) заснованої ним першої в Україні кафедри економіко-математичних методів, декана факультету. Бурхливий розвиток у 50-60-х роках ХХ століття економіко-математичних методів, обчислювальної техніки, розробка автоматизованих систем управління створили передумови для того, щоб математичне моделювання стало важливим інструментом економічних досліджень, необхідним елементом економічного аналізу, управління та прогнозування. Вагомий внесок у цю сферу діяльності зробив видатний київський вчений — академік Глушков В.М. та очолюваний ним Інститут кібернетики.

Виникла нагальна потреба в систематизованому вивченні основ економіко-математичного моделювання студентами економічних спеціальностей з метою подальшого застосування набутих знань у практичній діяльності та наукових дослідженнях. Саме тому в 1966 році на факультеті організації механізованої обробки економічної інформації було створено

кафедру математичних методів у плануванні, яку потім було перейменовано в кафедру економіко-математичних методів. Першим її завідувачем був доцент цього ж факультету Л. Л. Терехов, який розробив і прочитав навчальну дисципліну «Математичні методи планування і управління», створивши її методичне забезпечення. На основі цієї дисципліни й почала своєю діяльністю кафедра. До її складу тоді входило п'ять викладачів і чотири аспіранти.

Невдовзі Л.Л. Терехов став доктором наук, опублікував свій відомий підручник «Экономико-математические методы» (1968 р. — 1-е видання, 1970 р. — польське видання, 1972 р. — 2-е видання). Необхідно зазначити, що цей підручник, на теренах тодішнього СРСР, став першим підручником із системного викладання основних економіко-математичних методів, за яким навчалось багато майбутніх економістів. Все це сприяло становленню нового факультету, нових спеціальностей, Терехов виховував майбутніх кандидатів і докторів наук.

Потім був новостворений інститут підвищення кваліфікації керівних працівників при Раді Міністрів України, Лев Леонідович, із 1976 р., завідував кафедрою. Його наукова та викладацька робота відома у вищих навчальних закладах Москви, Києва, Ташкента, Ростова-на-Дону. У доробку Л. Л. Терехова біля 200 наукових праць, серед яких низка монографій та підручників, підготовлено 28 кандидатів та кілька докторів економічних наук. Неодноразово праці Терехова Л.Л. та його учнів друкувались у збірнику упродовж 55 років його існування.



Химанич Юрій Федорович



Юрій Федорович Химанич — кандидат економічних наук, доктор філософії, професор, член-кореспондент МКА, народився 8 січня 1939 р. у місті Києві. Закінчив із відзнакою статистичний технікум (1958 р.), обліково-економічний факультет Київського інституту народного господарства за спеціальністю «Статистика» та розпочав викладацьку діяльність на кафедрі статистики (1963 р.).

Розвиток науково-технічного прогресу вимагав підготовки фахівців нового рівня, які б акумулювали у собі знання економічної та математичної підготовки і вміння застосовувати обчислювальну техніку при вирішенні завдань управління економікою.

Ю.Ф. Химанич стояв у самих витоків створення факультету механізованої обробки економічної інформації. З 1964 р. працював старшим викладачем на кафедрі математичних методів планування та навчався в аспірантурі за спеціальністю 607 «Математичні методи в економічних дослідженнях». У 1968 р. захистив дисертацію на тему «Планування оптимальної структури виробництва сільськогосподарських підприємств із застосуванням економіко-математичних методів і електронно-обчислювальних машин» під керівництвом к.е.н., доцента Л.Л. Терехова. Питання моделювання оптимальної архітектури бізнесу залишаються актуальними і в 2020 р.

Поява електронних обчислювальних машин і необхідність створення та впровадження автоматизованих систем управління в народне господарство країни зумовило відкриття на факультеті з 1 вересня 1969 р. нової кафедри обчислювальних машин та програмування, на якій з перших днів працював к.е.н., доцент Ю.Ф. Химанич. З 1970 р. по 1974 р. він виконував обов'язки завідувача кафедри обчислювальних машин та програмування.

Тільки протягом перших 5 років кафедрою під його керівництвом була проведена колосальна робота, яка забезпечила підготовку фахівців високої кваліфікації: впроваджені нові курси, розроблене нове навчально-методичне забезпечення, створена матеріальна база, сформований новий викладацький склад. Ю.Ф. Химаничем були видані навчальні посібники з курсу «Обчислювальні машини та програмування» у чотирьох частинах (КІНГ, 1971-1972 рр.).

З 1974 р., викладаючи на кафедрі економіко-математичних методів, доцент Ю.Ф. Химанич підготував навчально-методичне забезпечення курсів «Математичні методи та моделі» та «Дискретний аналіз», був співавтором навчального посібника «Дискретний аналіз» (КІНГ, 1975 р.). У рамках науково-дослідної роботи доцент Ю.Ф. Химанич

займався автоматизацією бухгалтерського обліку у ВНЗ. Під керівництвом та за участю доцента Ю.Ф. Химанича були втілені у життя важливі проекти для народного господарства країни, а саме: розробка проекту по руху матеріальних цінностей в умовах АСУП на базі ЕОМ (1972 р.); розробка та впровадження АСУ Мінм'ясомолпром УРСР (1973 р.); розробка та впровадження АСУ Укргеологія (1974 р.).

Свої наукові праці молодий вчений Ю.Ф. Химанич друкував у міжвідомчому науковому збірнику «Механізація обліку і обчислювальних робіт» (сучасний «Моделювання та інформаційні технології в економіці»). Серед них: «Економіко-математична модель виробничого планування сільськогосподарського підприємства» (випуск 7, 1968 р.); «Економіко-математична модель задачі оптимального планування сільськогосподарського виробництва на перспективу» (випуск 10, 1969 р.); «Питання розробки та впровадження автоматизованої системи управління галуззю» (випуск 17, 1971 р.), «Автоматизація розрахунків за утримання дітей в дитячих дошкільних установах» (випуск 18, 1973 р.) та інші. Численні наукові та навчально-методичні праці Ю.Ф. Химанича справили величезний вплив на розвиток сучасних економіко-математичних досліджень.

Проявивши здібності талановитого організатора, керівника, викладача та вченого, Ю.Ф. Химанич заклав міцний фундамент для становлення та подальшого розвитку кафедр обчислювальних машин та програмування й економіко-математичних методів, факультету та інституту в цілому.

За своє життя професор Ю.Ф. Химанич працював на посадах, які вимагали високого професіоналізму, а саме: декана факультету оперативно-господарського управління, завідувача кафедри проблем управління торгівлі Інституту підвищення кваліфікації керівних працівників і спеціалістів торгівлі; начальника відділу перепідготовки та підвищення кваліфікації працівників управління післядипломної освіти Міністерства освіти України; проректора з навчально-методичної та наукової роботи Міжгалузевого інституту післядипломної освіти.



Шарапов Олександр Дмитрович



Олександр Дмитрович Шарапов – кандидат технічних наук, професор, декан факультету інформаційних систем і технологій, народився у Путивлі. Він був п'ятою, наймолодшою, дитиною у великій, дружній, інтелігентній родині. Батько Дмитро Васильович — нащадок козацького роду, за часів Першої світової війни штабс-капітан, учасник Брусилівського прориву, за мужність і героїзм нагороджений Георгіївським хрестом. Працював вчителем історії, математики, музики та співу, завідуючим дитячим притулком, директором трудової школи, завідуючим-інспектором

Путивльського районного відділу народної освіти, завучем школи.

Дитинство Олександра Дмитровича прийшлося на страшний час воєнного лихоліття та важкі повоєнні роки, рано залишився без батька. На все життя запам'ятав він моторошні хвилини очікування розстрілу, коли у 1942 році, рятуючись від переслідування, на їх двір забіг партизан-зв'язківець, зовсім юний хлопчина років 14-15. Поки тривав обшук, маленький Сашко з батьками і сестрою Надією стояли під прицілом німецьких автоматів. На щастя (а може, й благодійні стіни священницького дому допомогли), німцям не вдалося знайти партизана, захованого в погребі. Після звільнення Путивльщини, цей парубок завітав до родини Шарапових, дякуючи за врятоване життя. До речі, сестри Олена та Надія теж були зв'язківцями з партизанським загonom.

У ті тривожні часи гартувався та проявився у Олександра характер лідера, природна широта натури — від відчайдушного неслуха, розбишаки, постійного учасника вуличних бійок до відмінника у навчанні, закоханого у читання. Вдома була зібрана батьком чимала бібліотека (близько 2 тисяч найменувань). Серед них: мала і велика енциклопедії, багатотомна «Енциклопедія Ф.А. Брокгауза и И.А. Эфрона», довідники з математики, класична література, історичні твори, велика добірка музичної літератури та багато інших видань. На щастя, конструктивна складова особистості переважила, і у 1954 році після закінчення із золотою медаллю Путивльської середньої школи № 1 юний Олександр вступив на механіко-математичний факультет Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка.

Студентські роки залишили яскраві незабутні враження — знайомство з столицею України, цікавими людьми, маститими університетськими професорами, ще дореволюційної школи, і студентами. Серед його приятелів були майбутні вчені та видатні українські поети Василь Симоненко і Дмитро Олійник, з якими Олександр проживав в одному гуртожитку.

Розпочав Олександр Дмитрович свій трудовий шлях у 1959 році у відділі термопружності Інституту механіки Національної Академії наук України, де займався створенням та дослідженням фізичних моделей турбін, що використовуються в ракетобудуванні. У 1968 році захистив кандидатську дисертацію з питань турбіно-будування.

У 1970 році почав працювати викладачем у Київському інституті народного господарства (нині — Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана). Обіймав посади старшого викладача, доцента, завідуючого кафедри економіко-математичних методів, декана інженерно-економічного факультету, проректора з навчальної роботи, проректора з міжнародних зв'язків, декана факультету інформаційних систем і технологій, завідуючого кафедри інформатики. Працював викладачем і читав лекції за кордоном, зокрема у Вищій економічній школі у Братиславі, Угорщині, Німеччині, на Кубі, на теренах колишнього СРСР.

Був організатором і брав участь у численних міжнародних, всесоюзних і республіканських наукових, науково-практичних і студентських конференціях, зокрема у Німеччині, Фінляндії, країнах Східної Європи, на Кубі та ін.

Під керівництвом О.Д. Шарапова у напрямку сформованої ним наукової школи підготовлено понад 40 кандидатів економічних наук, серед яких громадяни Чехії, Словаччини, Німеччини, Угорщини, Єгипту, Сирії, Ізраїлю, Шрі-Ланки, Куби, України, Росії, Узбекистану, інших республік колишнього СРСР.

Коло наукових інтересів О.Д. Шарапова охоплювало: системні дослідження в інтелектуальній економіці та інших сферах суспільного життя; математичні методи, моделі та інформаційні технології в економічних дослідженнях та управлінні складними системами; моделювання трансформаційної економіки України тощо.

Так, у науковому доробку вчений мав біля 400 опублікованих наукових і науково-методичних праць — монографій, наукових статей, підручників, посібників, словників, рекомендацій у вітчизняних і зарубіжних виданнях. При цьому Олександр Дмитрович глибоко цікавився історією та філософією, він зібрав величезну домашню наукову бібліотеку.

Олександр Дмитрович був нагороджений орденом «За заслуги» III ступеня. Указом Президента України за вагомий особистий внесок у розвиток національної освіти, впровадження сучасних методів навчання і виховання молоді вченому присвоєно Почесне звання «Заслуженого працівника народної освіти України».

Нагороджений Почесною грамотою Кабінету Міністрів України «За багаторічну сумлінну працю і особистий внесок у розвиток освіти» і Почесною грамотою Верховної Ради України «За заслуги перед Українським народом». Має знаки «Відмінник освіти України» та «Петро Могила» Міністерства освіти і науки України та відзнаки зарубіжних країн (Чехословаччини, Угорщини, Куби) тощо.

Олександр Дмитрович був одним із фундаторів та засновників наукового журналу «Моделювання та інформаційні системи в економіці» (Машинна обробка інформації), був постійним членом редколегії та багато років відповідальним редактором, брав безпосередню участь у формуванні редакційної політики та наукової спрямованості журналу. Його зауваження, пропозиції та поради щодо підготовки наукових статей стали в нагоді не тільки для багатьох аспірантів і молодих учених, а і для досвідчених науковців та професорів.

Агутін М. М., к.е.н.,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
Дем'яненко В. В., к.е.н.,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
Потапенко С. Д., к.е.н.,
доцент кафедри ікомп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Agutin M. M., Candidate of Economic Science,
Associate Professor at the Department of
Computer Mathematics and Information Security,
Demyanenko V. V., Candidate of Economic Science,
Associate Professor at the Department of
Computer Mathematics and Information Security,
Potapenko S. D., Candidate of Economic Science,
Associate Professor at the Department of
Computer Mathematics and Information Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕКЛАМНОГО ПРОСУВАННЯ ВЕБ-ПРОЕКТУ

MATHEMATICAL MODELING OF WEB PROJECT ADVERTISING PROMOTION

Анотація. Стаття присвячена актуальним питанням моделювання рекламного просування веб-проекту методами пошукової оптимізації, контентної реклами та проведення цільових рекламних кампаній. Розглянуто підходи щодо методів рекламного просування веб-проекту та варіанти їх удосконалення. Виділені етапи та підходи щодо просування веб-проекту в пошукових системах, а також показники якості пошукового просування. Метою статті є побудова математичної моделі рекламного просування веб-проекту та формування набору рекламних засобів та етапів рекламної кампанії для досягнення маркетингових цілей підприємства. Новим науковим результатом публікації є розроблена економіко-математична модель рекламного просування веб-проекту. Формалізовано мету рекламного просування веб-проекту, як цільову функцію математичної моделі, яка залежить від параметрів вибраних напрямів та засобів рекламного просування та обмежень у часі рекламної компанії та рекламного бюджету. Математична модель враховує параметри ефективності вкладення грошових коштів у процедуру рекламування та обсяг капіталовкладень у рекламування для певного напрямку розміщення рекламних повідомлень за вибраний часовий період. Розроблені рішення та вибір напрямів рекламного просування веб-проекту дозволять оптимізувати рекламний бюджет для залучення нових покупців і клієнтів. Розроблена модель дозволить також здійснювати моніторинг показників ефективності реклами протягом фіксованого періоду часу. Система моніторингу рекламного просування передбачає впровадження комплексу інструментів спостереження, аналізу, інформаційної обробки та прийняття рішень щодо вибору інструментів та засобів реклами веб-проекту. Оцінювання

ефективності рекламного просування веб-проекту передбачає порівняння показників системи моніторингу за визначені періоди часу з запланованими показниками, попереднім періодом, нормативами, з показниками інших об'єктів моніторингу веб-проекту.

Ключові слова: рекламне просування; веб-проект; математичне моделювання розміру рекламного бюджету; методи просування у пошукових системах; система моніторингу ефективності реклами.

Abstract. The article is devoted to actual issues of modeling advertising promotion of a web-project by methods of search engine optimization, contextual advertising and targeted advertising campaigns. Approaches to methods of advertising promotion of the web-project and options for their improvement are considered. The milestones and approaches to the promotion of the web-project in search engines, as well as indicators of the quality of search promotion are considered. The purpose of the article is to build a mathematical model of advertising promotion of the Internet resource and the formation of a set of advertising tools and stages of the advertising campaign to achieve marketing goals of the enterprise. A new scientific result of the publication is the economic and mathematical model of advertising promotion of the web-project. The purpose of advertising promotion of the web-project is formalized as a target function of the mathematical model, which depends on the parameters of the selected areas and means of advertising promotion and time constraints of the advertising campaign and advertising budget. The mathematical model takes into account the parameters of the efficiency of invested money in the advertising procedure and the amount of investment in advertising for a particular direction of advertising for the selected time period. The developed solutions and the choice of directions of advertising promotion of the web-project will allow to optimize the advertising budget for attracting new buyers and clients. The developed model will also allow monitoring of advertising performance indicators for a fixed period of time. The system of monitoring advertising promotion provides for the introduction of a set of tools for monitoring, analysis, information processing and decision-making on the choice of tools and means of advertising a web-project. Evaluating the effectiveness of advertising promotion of the web-project involves comparing the indicators of the monitoring system for certain periods of time with the planned indicators, the previous period, standards, with indicators of other objects of monitoring of the web-project.

Keywords: advertising promotion; web-project; mathematical modeling of advertising budget; search engine promotion methods; advertising effectiveness monitoring system.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Динамічний розвиток електронного бізнесу вимагає вирішувати актуальні завдання оптимізації витрат на рекламний бюджет компанії за умов використання нових технологій впливу на цільову аудиторію для досягнення комерційних цілей. Вибір неефективних засобів реклами та відсутність таргетингу реклами призводить до невіправданого використання фінансових ресурсів і зменшення продажу товарів і послуг. Вирішення проблем ефективного планування процесу рекламного просування веб-проекту та здійснення моніторингу за цільовими показниками цього процесу сприятиме ефективному плануванню бюджету на рекламу та вчасному його коригуванню, що є важливою вимогою до підприємств в умовах конкурентного середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню питань використання рекламних кампаній в Інтернет-маркетингу та електронному бізнесі присвячені роботи багатьох вітчизняних і відомих в світі науковців, зокрема Плескач В. Л. [5], Макарової М. В. [4], Kenneth C. Wilbur [6] тощо; математичне моделювання рекламних кампаній підприємств з метою забезпечення максимізації прибутку подано також у роботах Гальчинського Л. Ю., Сташкевича Д. С. [3]. Вирішенню завдань побудови систем моніторингу в сфері інформаційних технологій і маркетингу присвячені роботи Суслова О. П., Галіцина В. К. [1, 2]. Водночас питання оптимального планування рекламного просування та налагодження процесів моніторингу показників рекламних компаній на сьогодні потребують подальшого вивчення.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Математичне моделювання проекту рекламного просування веб-проекту дозволяє вирішити задачу оптимального планування витрат рекламних коштів за напрямками (пошукова оптимізація, контекстна реклама, листи розсилки, просування в соціальних мережах та змішані медіа) та періодами рекламування. Вирішення цієї задачі дозволить охопити максимальну цільову аудиторію зацікавлених споживачів та підвищити ринкову долю підприємства.

Основною метою статті є побудова математичної моделі рекламного просування веб-проекту та формування ефективного набору рекламних засобів і вибір оптимального складу етапів рекламної кампанії для досягнення сукупності маркетингових цілей підприємства за обмежених ресурсів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Створення веб-проекту є початковим етапом виходу компанії до Інтернет-ринку, під час якого досягаються цілі всебічного висвітлення її діяльності та переваг запропонованої продукції чи послуг. Наступним кроком є рекламне просування веб-проекту компанії за допомогою наявних інструментів.

Основними напрямками рекламного просування веб-проектів є такі:

- банерна реклама;
- пошукове просування;
- реклама в електронних листах розсилки;
- push-реклама в мобільних телефонах, у Telegram-каналах і групах Viber;
- мультимедійна реклама;
- змішана медійна реклама з текстовим супроводженням;
- реклама у відео-сервісах, коротке відео;

- контекстна реклама.

За аналітичними даними груп веб-аналітиків, пошукова оптимізація сайтів і контекстна реклама займають провідне місце серед методів довгострокового рекламного просування веб-проектів.

Процес пошукової оптимізації складається з кількох етапів, серед яких основними слід вважати такі:

- 1) проведення SEO-аудиту веб-проекту;
- 2) визначення ключових факторів успіху просування (KPI);
- 3) вибір напрямків просування веб-проекту;
- 4) здійснення заходів пошукового просування протягом певного періоду часу;
- 5) моніторинг результатів рекламного просування веб-проекту.

Планування просування веб-проекту. Більшість з відповідних етапів виконується послідовно і формує результати для виконання наступного етапу. Але певна кількість заходів рекламного просування може бути виконана паралельно для скорочення витрат часу та збільшення ефективності від одночасного виконання заходів рекламного просування. Наприклад, етап проведення SEO-аудиту веб-проекту включає такі роботи:

аналіз архітектури веб-проекту та основних статистичних показників: визначення основних тематик веб-проекту, швидкості завантаження та внутрішніх поведінкових факторів, перевірка на наявність пов'язаних сайтів та дзеркал тощо;

аудит внутрішніх факторів: перевірка на унікальність текстів та їх відповідність семантичному ядру; надання рекомендацій щодо структури веб-проекту та оптимізації внутрішніх сторінок;

аналіз зовнішніх факторів: Перевірка кількості та якості масиву гіперпосилань, індексації веб-проекту, реалізації просування субдоменів та аналіз проекту щодо можливості максимального охоплення цільової аудиторії;

аналіз поведінкових факторів: перевірка даних за ключовими поведінковим факторами зі статистики для сторінок, які просуваються на поточний момент;

розроблення системи пов'язаних гіперпосилань з зовнішніх сторінок, подання загальної системи розміщення посилань на головну сторінку веб-проекту, основні розділи та підрозділів веб-проекту, а також кінцевих сторінок;

планування робіт з пошукового просування проекту: розроблення плану робіт, які необхідні для швидкого та ефективного підвищення рейтингу та появи веб-проекту в результатах видачі за найбільш популярними ключовими словами;

розроблення стратегії розміщення гіперпосилань, яка, зокрема, містить інформацію щодо збільшення кількості зовнішніх посилань терміном у один місяць; оцінювання досягнень та результатів за динамікою зростання для високо- та низькочастотних ключових слів у запитах до пошукових систем.

Схему пошукового просування веб-проекту зображено на рис. 1.

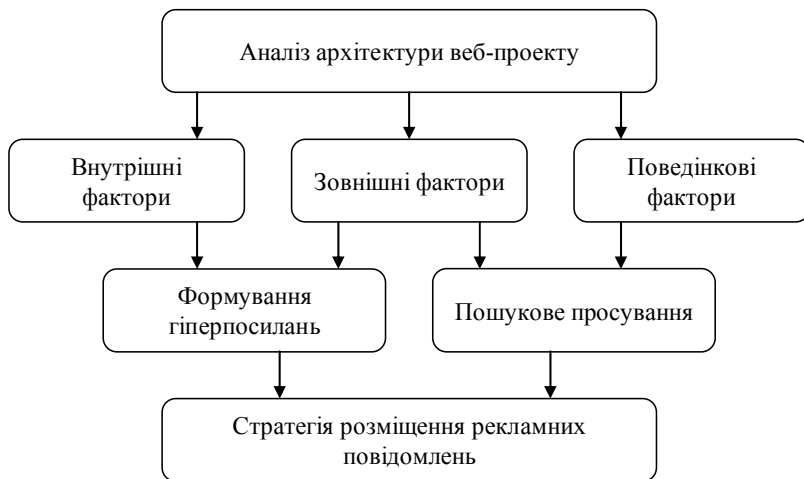


Рис. 1. План пошукового просування веб-проекту

З точки зору моніторингу процесу рекламного просування пропонується виділити ключові критерії, за якими будемо оцінювати ефективність рекламних заходів:

- кількість продаж кінцевим споживачам,
- обсяг продажів в грошових одиницях,
- кількість покупок,
- кількість покупців,
- кількість відвідувачів,
- вартість залучення одного споживача,
- кількість нових клієнтів (особливо стосується нових продуктів).

Визначення розміру рекламного бюджету. Пошук оптимального плану витрат на рекламування можна здійснити використавши оптимізаційну модель з цільовою функцією такого вигляду:

$$F = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{t=1}^T a_{ijt} x_{ijt} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де F — обсяг прибутку підприємства; I — кількість напрямків розміщення рекламних повідомлень; i — індекс відповідного напрямку розміщення рекламних повідомлень; J_i — кількість каналів розповсюдження i -го напрямку розміщення рекламних повідомлень; j — індекс відповідного каналу розповсюдження рекламних повідомлень; T — кількість часових періодів для яких виконується моделювання обсягу рекламних витрат; t — індекс відповідного часового періоду; a_{ijt} — економічна ефективність вкладення грошових коштів у процедуру рекламування для i -го напрямку розміщення для j -го каналу розповсюдження рекламних повідомлень у t -тий часовий період; x_{ijt} — обсяг капіталовкладень у рекламування для i -го напрямку розміщення для j -го каналу розповсюдження рекламних повідомлень у t -тий часовий період.

Пошук оптимального плану витрат на рекламування пропонується здійснювати в умовах верхнього та нижнього рівнів бюджету рекламних витрат. Оскільки дані межі є об'єктивними економічними обмеженнями — то пропонуємо враховувати їх директивно через те, що обсяги витрат на рекламування у певний часовий період часто мають певні обмеження. Отже таку умову задачі можна описати як:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} x_{ijt} \leq b_t, \text{ для кожного } t \in \overline{1, T},$$

де b_t — обсяг сукупних витрат підприємства, які є допустимими для t -того часового періоду.

Витрати на залучення i -го напрямку розміщення рекламних повідомлень у t -тий часовий період також може мати мінімально необхідну межу для того, щоб реклама була дієвою. Дану передумову задачі можна описати як:

$$\sum_{j=1}^{J_i} x_{ijt} \geq b_{it}, \text{ для кожного } i \in \overline{1, I} \text{ і } t \in \overline{1, T},$$

де b_{it} — обсяг сукупних витрат підприємства, які є мінімально необхідними для i -го напрямку розміщення рекламних повідомлень у t -тий часовий період.

Також, з економічних умов задачі, необхідним є урахування обмеження:

$$x_{ijt} \geq 0, \text{ для всіх } i \in \overline{1, I}, j \in \overline{1, J_i} \text{ і } t \in \overline{1, T}.$$

Пошук рішення задачі здійснюється методами пошуку рішень задач лінійного програмування — сімлекс-методом, методом Кармаркара тощо. Знайдене оптимальне рішення задачі є основою для визначення сукупного розміру рекламного бюджету S у цілому для всієї рекламної кампанії. Значення зазначеного показника можна отримати за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{t=1}^T x_{ijt}^*, \text{ для всіх } i \in \overline{1, I} \text{ і } t \in \overline{1, T},$$

де x_{ijt}^* — знайдений оптимальний обсяг капіталовкладень у рекламування для i -го напрямку розміщення рекламних повідомлень, j -го каналу розповсюдження рекламних повідомлень у t -тий часовий період.

Даний підхід до формування плану рекламних витрат може бути цікавим для підприємств оскільки з одного боку враховується досвід компаній з проведення аналогічних рекламних заходів у стаціонарних умовах кожного окремого напрямку розміщення рекламних повідомлень. З іншого боку подальше формування оптимального плану рекламних витрат будується у умовах диверсифікації таких напрямків, що є безсумнівно важливим для сучасних підприємств.

Врахування особливостей залучення окремих напрямків просування рекламних повідомлень може бути розглянуто як передумова подальшого розвитку оптимізаційної моделі, яка пропонується. Але, враховуючи, високе різноманіття таких напрямків можна стверджувати, що дану задачу слід розглядати в якості теми подальших наукових досліджень, а запропоновану у даній статті оптимізаційну модель, як підґрунтя до розв'язку такої задачі.

Моніторинг просування веб-проекту. З точки зору пошукового просування веб-проекту слід відзначити, що успішність рекламного просування залежить від багатьох чинників, які впливають на популярність конкретного веб-проекту торговельної марки, товару чи підприємства взагалі. Врахування цих чинників і вимірювання кількісних показників успішності рекламного просування лежить в основі визначення таких результуючих показників:

- позиція веб-проекту в результатах пошукової видачі Google в розрізі регіонів;
- позиція у мобільних результатах пошуку та/або видачі для персональних комп'ютерів;
- кількість переходів з пошукових систем/прямих гіперпосилань;
- кількість переходів з рекламних оголошень;
- якість заголовків, опису, коротких посилань;
- аналіз місця серед конкурентів за відвідуваністю;
- вартість залучення нового клієнта.

Комплексна аналітична система моніторингу рекламного просування веб-проекту дозволить ефективно визначати найдієвіші інструменти реклами, оптимізувати рекламний бюджет і досягати маркетингових цілей підприємства.

Схематичне зображення системи моніторингу подано на рис. 2.

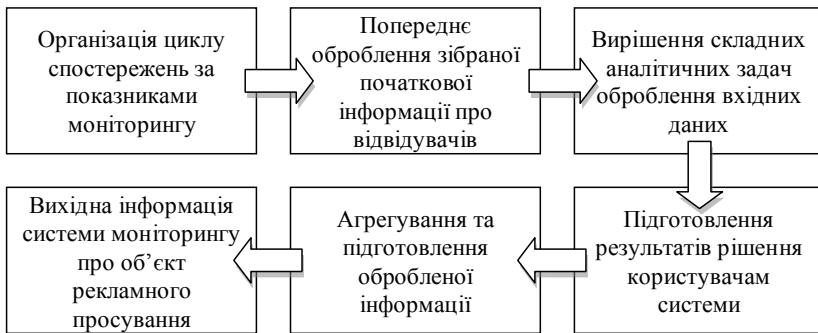


Рис. 2. Схема процесу моніторингу процесу просування веб-проекту

Відстежування впливу маркетингових заходів і методів і методів рекламного просування веб-проекту, а також корегувальні дії щодо вибору найефективніших заходів дозволяє здійснювати аналітична система моніторингу рекламного просування. Система моніторингу передбачає впровадження комплексу інструментів спостереження, аналізу, інформаційної обробки та прийняття рішень, що базуються на таких принципах [1]: всебічність моніторингу; відповідність цілям; прийнятність; своєчасність; доведеність; динамічність; гнучкість та/або адаптованість.

Залежно від характеристик об'єкта моніторингу з прогнозної інформації про результати функціонування системи моніторингу рекламного просування визначаються основні принципи функціонування системи моніторингу. Цим принципам відповідають основні функції системи моніторингу пошукового просування веб-проекту, такі як:

1. Спостереження за об'єктом моніторингу. Ця функція включає в себе періодичний збір показників відвідуваності та інших ключових факторів.

2. Накопичення, формалізація, систематизація та архівація отриманої під час моніторингу інформації. Збір інформації за основними показниками і критеріями кожного об'єкта моніторингу. Для зберігання такої інформації використовуються бази даних.

3. Побудова звітів моніторингу. Систематизація зібраної інформації відбувається у табличній формі за об'єктами моніторингу, напрямами рекламування та джерелами надходження відвідувачів.

4. Візуалізація результатів моніторингу. Звіти можуть бути у вигляді текстового опису, таблиць або у вигляді графіків і діаграм, сучасні аналітичні системи дозволяють відображати графічну інформацію у вигляді динамічних звітів, що оновлюються в реальному часі.

5. Визначення вузьких місць. На основі аналітичних даних моніторингу стає можливим дізнатися, яке місце інфраструктури найбільш значно знижує загальні показники продуктивності всієї системи моніторингу в цілому.

6. Автоматизація сценаріїв різних заходів рекламного просування. Функція звільняє адміністраторів веб-проекту від рутинних завдань моніторингу.

Під час моніторингу здійснення рекламної компанії ключовими факторами оцінювання ефективності є порівняння досягнутих показників системи моніторингу із запланованими показниками, попереднім періодом, нормативами, з показниками інших об'єктів моніторингу.

Приріст ефективності здійснення веб-проекту у такому випадку буде відповідати комплексному показнику, як сумі оцінок збільшення ефекту від вкладених коштів на рекламне просування веб-проекту. При визначенні цього показника слід урахувати важливість того чи того цільового фактору, приведеного до єдиних одиниць вимірювання.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У статті розглянуто особливості планування просування веб-проекту, зосереджено увагу на вирішенні питання визначення розміру рекламного бюджету, оприлюднено результати дослідження особливостей моніторингу просування веб-проекту з огляду на його пошукове просування. Виділено ключові критерії, за якими доцільно оцінювати ефективність рекламних заходів та які є підґрунтям до проведення ефективного моніторингу. Показано можливість визначення розміру рекламного бюджету у контексті побудови ефективного розподілу фінансових коштів з урахуванням часових періодів проведення рекламної кампанії з просування веб-проекту. Визначено основні принципи проведення ефективного моніторингу просування веб-проектів.

Математична модель визначення розміру бюджету рекламної кампанії може бути використана в якості основи подальших наукових досліджень даного напрямку, що може бути цікавим для підприємств сферою діяльності яких є реалізація веб-проектів різноманітних масштабів та спрямування.

Бібліографічні посилання

1. Галіцин В. К. Системи моніторингу. Монографія. Київ, КНЕУ, 2000. 231 с.
2. Галіцин В. К., Суслов О. П., Дем'яненко В. В., Потапенко С. Д. Математичні моделі та інформаційні технології управління рекламною діяльністю. Монографія. Івано-Франківськ, ПВНЗ «Галицька Академія», 2009. 144 с.
3. Гальчинський Л. Ю., Сташкевич Д. С. Модель оцінки ефективності компаній посередників на ринку контекстної реклами // Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Економіка і менеджмент. Одеса: МГУ, 2015. №13. С. 242—246.
4. Макарова М. В. Інформаційні інноваційні технології в управлінні промисловими підприємствами: сучасні аспекти // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Економічні науки. Маріуполь: ПДТУ, 2018. №36. С. 153—160.
5. Плєскач В. Л. Технології електронного бізнесу. Монографія. Київ, КНТЕУ, 2004. 222 с.
6. Kenneth C. Wilbur Modeling the Effects of Advertisement-Avoidance Technology on Advertisement-Supported Media. Charlottesville, University of Virginia, 2004. 37 p.

Статтю подано до редакції 06.10.2020

Бегун А. В., к.е.н.,
професор кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
Осипова О. І., к.е.н.,
доцент кафедри економіко-математичного моделювання,
Урденко О. Г.,
аспірант кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Biehun A. V., PhD in Economics,
Professor of the Computer Mathematics and Information Security Department,
Osyrova O. I., PhD in Economics,
Associate Professor of the Economic and Mathematical Modelling
Department,
Urdenko O. G., Postgraduate Student of the
Computer Mathematics and Information Security Department,
SHEI KNEU named after V. Hetman

ПРО ОДНУ З СИТУАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПІДПРИЄМСТВА

ABOUT ONE OF THE SITUATIONAL MODELS OF THE INFORMATION SECURITY MANAGEMENT OF THE ENTERPRISE

Анотація. Теорія управління інформаційною безпекою економічних систем створила багато ефективних механізмів швидкого і точного вибору управляючих дій на об'єкт за даними його стану. До найважливіших серед них слід віднести концепцію ситуаційного управління складними об'єктами на основі різноманітних технологій моделювання. Серед загальної кількості моделей і методів управління інформаційною безпекою організації систем найконструктивнішим для дослідження критичних процесів можуть бути використані ситуаційні. Головною перевагою і щільною якістю таких моделей є корисність для кількісного прогнозу інформаційних ризиків, а також для апріорної оцінки та оптимізації заходів щодо їх зменшення або перерозподілу. Більш того, якісний і кількісний аналіз ситуаційних моделей може також сприяти не тільки виявленню «вузьких місць», але і розробці найефективніших стратегій удосконалення інформаційної безпеки. В якості прикладу розглядається задача одного класу моделей — так званих діаграм причинно-наслідкових зв'язків. До таких моделей звичайно відносять: а) мережу стохастичної або детермінованої структури; б) граф станів і переходів; в) дерево надзвичайних станів і дерево подій. До того ж основними перевагами таких семантичних моделей слід віднести наочність, інформативність і можливість враховувати велику кількість тих суттєвих факторів, які реально супроводжують функціонування конкретних компонентів організаційної системи. Особливість до практичного застосування даних діаграм пов'язана з можливістю переходу від семантичного (змістовного) рівня представлення об'єктів і процесів, до синтаксичного (знакового). Досягається цей процес наступною формалізацією вказаних діаграм, яка проводиться з ме-

тою отримання на їх основі відповідних аналітичних моделей, що найбільш пристосовані для аналізу і оброблення за допомогою сучасних математичних і машинних методів.

Ключові слова: дерево подій; ситуаційна модель; діаграма причинно-наслідкових зв'язків; надзвичайна ситуація.

Abstract. *The theory of information security management of economic systems has created many effective mechanisms for quick and accurate selection of control actions for the object according to its condition. Among the most important among them is the concept of situational management of complex objects based on various modeling technologies. Among the total number of models and methods of information security management of the organization of systems the most constructive for the study of critical processes can be used situational. The main advantage and dense quality of such models is the usefulness for quantitative forecasting of information risks, as well as for a priori assessment and optimization of measures to reduce or redistribute them. Moreover, qualitative and quantitative analysis of situational models can also help not only to identify «bottlenecks», but also to develop the most effective strategies to improve information security. As an example, we consider the problem of one class of models — the so-called diagrams of causation. Such models usually include: a) a network of stochastic or deterministic structure; b) graph of states and transitions; c) emergency tree and event tree. In addition, the main advantages of such semantic models include clarity, informativeness and the ability to take into account a large number of those significant factors that actually accompany the functioning of specific components of the organizational system. The peculiarity of the practical application of these diagrams is associated with the possibility of transition from the semantic (content) level of representation of objects and processes, to the syntactic (symbolic). This process is achieved by the following formalization of these diagrams, which is carried out in order to obtain on their basis the appropriate analytical models that are best suited for analysis and processing using modern mathematical and machine methods.*

Keywords: *event tree; situational model; causal diagram; emergency situation.*

Вступ. Інформаційна складова є ведучим сегментом у діяльності будь-якого підприємства і чинить вплив на всі елементи його функціонування. Разом зі зростаючою залежністю від цифрових технологій, які пов'язані з поширенням обсягів інформації, підвищується рівень загроз інформаційних атак на інформаційні ресурси та інфраструктуру. Ці атаки становляться складнішими, цілеспрямованішими і масштабнішими, часто погрожують критичним елементам інформаційної інфраструктури економічної системи.

Аналіз останніх публікацій. З цього приводу є доцільним дослідження і створення цілісної системи управління інформаційною безпекою, яка б проводила моніторинг прошарку нестабільних ситуацій і приймала рішення на виникнення конкретного інциденту [5, 6].

Розгляд концепцій ситуаційного управління інформаційною безпекою (СУІБ) економічних суб'єктів дозволяє зробити два основних висновки. По-перше, основні методологічні передумови

реалізації ситуаційного управління розроблені на дуже високому рівні абстракції і не доведені до рівня структуризації систем різноманітного класу. По-друге, спроби розробити достатньо обґрунтовану концепцію СУІБ суб'єктів господарювання слід визнати незавершеною, так як відсутня надійна методологічна основа дослідження джерел і причин виникнення управлінських ситуацій. Тому головна позиція при розробці концепції рішення ситуаційних задач управління інформаційною безпекою полягає у такому: ситуація, яка виникла або передбачена проблемною, може враховуватися вирішеною тільки в тому випадку, коли виконане відпрацювання і реалізація управлінських рішень, що ліквідують той стан організації, її елементів та елементів зовнішнього середовища, який є проблемним. Тобто, кожному типу конкретної ситуації повинна відповідати своя послідовність процедур управління з її інформаційним забезпеченням, критеріями і методами прийняття рішень, своїми об'єктами управлінських дій. Тим самим забезпечується можливість адаптації структури управління до умов функціонування організації, які динамічно змінюються у зовнішньому середовищі та його елементів. Таким чином, концепція полягає у розробці комплексу методів і засобів, які направлені на виявлення та вирішення проблем, що виникають на всіх етапах функціонування організації. Ці методи і засоби включають класифікатор управлінських ситуацій, топологію процедур управління, структуру інформаційного забезпечення тощо. Розробка основних положень концепції у теоретичному і методичному плані повинна виконуватися таким чином. По-перше, необхідно дослідити причини і джерела виникнення ситуацій, а також об'єкти на які можуть бути направлені дії з метою вирішення ситуацій. По-друге, необхідно розробити методи і моделі формувань процедур управління, що є адекватними цілям розв'язання всієї сукупності ситуацій. По-третє, необхідно виявити послідовність, обсяг і змістову різноманітність інформаційних процесів, оскільки вони є основою для розроблення системи інформаційного і технічного забезпечення технологій розв'язання ситуаційних задач управління.

Однією з автономних задач є задача пошуку методів і моделей доповнення ситуаційними елементами реалізації нових організаційно-економічних зв'язків, які виникають при розв'язанні всієї сукупності ситуацій або з найбільш значимих з них. Природно, що на різних етапах реалізації цієї концепції необхідно розв'язувати цілий ряд задач статичного і динамічного аспектів управління: великі обсяги даних, оцінка потенціалу управлінських кадрів, стандарти інформаційної безпеки тощо.

Викладення основного матеріалу. Теорія управління інформаційною безпекою економічних систем створила багато ефективних механізмів швидкого і точного вибору управляючих дій на об'єкт за даними його стану. До найважливіших серед них слід віднести концепцію ситуаційного управління складними об'єктами на основі різноманітних технологій моделювання.

Серед загальної кількості моделей і методів управління інформаційною безпекою організації систем найконструктивнішим для дослідження критичних процесів можуть бути ситуаційні.

Головною перевагою і щільною якістю таких моделей є корисність для кількісного прогнозу інформаційних ризиків, а також для апріорної оцінки та оптимізації заходів щодо їх зменшення або перерозподілу. Більш того, якісний і кількісний аналіз ситуаційних моделей може також сприяти не тільки виявленню «вузьких місць», але і розробці найефективніших стратегій удосконалення інформаційної безпеки. В якості прикладу розглянемо задачу одного класу моделей — так званих діаграм причинно-наслідкових зв'язків. До таких моделей звичайно відносять:

- а) мережу стохастичної або детермінованої структури;
- б) граф станів і переходів;
- в) дерево надзвичайних станів і дерево подій.

До того ж основними перевагами таких семантичних моделей слід віднести наочність, інформативність і можливість враховувати велику кількість тих суттєвих факторів, які реально супроводжують функціонування конкретних компонентів організаційної системи.

Особливість до практичного застосування даних діаграм пов'язана з можливістю переходу від семантичного (змістовного) рівня представлення об'єктів і процесів, до яких притаманний процес моделювання, до синтаксичного (знакового).

Досягається цей процес наступною формалізацією вказаних діаграм, яка проводиться з метою отримання на їх основі відповідних аналітичних моделей, що найпристосованіші для аналізу і оброблення за допомогою сучасних математичних і машинних методів [2, 3].

До теперішнього часу вже накопичено певний досвід застосування ситуаційних графо-аналітичних моделей для зниження ризику техногенних катастроф. Такий досвід може виявитися корисним у попередженні та обслуговуванні загроз і викликів іншого походження, наприклад, для підприємств з неоднорідною структурою. Мабуть найперспективнішим у цьому відношенні

слід вважати діаграми: «дерево надзвичайних подій» і «дерево подій» та його можливих руйнівних наслідків.

При створенні таких діаграм доцільно користуватися такими правилами:

а) давати чіткі визначення категоріям моделі (події, причини і умови їх появи), виконувати декомпозицію складних подій на прості, виявляти спільні передумови та розділяти їх, встановлювати час і місце появи причин і передумов, які пов'язані із зовнішніми факторами;

б) дерево подій слід будувати з використанням методу дедукції — від головної події до її передумов (в зворотній послідовності);

в) дерево результатів — метод індукції — від центральної події до можливих руйнівних наслідків для інформаційних, матеріальних і природних ресурсів.

Такі правила можна представити у вигляді дерева надзвичайної події і дерева подій.

В якості об'єкту моделювання будемо розглядати деяке гіпотетичне цифрове підприємство і його оточення — цифрове суспільство. Предметом дослідження виступають об'єктивні закономірності появи і попередження надзвичайної ситуації, яка пов'язана із можливістю підриву життєдіяльності цифрового підприємства, його метою — оцінювання і зниження відповідної ймовірності та збитку конкретної структурної частини підприємства.

Під подією (X), зображеним посередині рис. 1, розуміється надзвичайна ситуація, що виникла на підприємстві, наприклад, внаслідок оголошення (I) в ньому надзвичайного стану і розколу (Л) керівництва компанії. Пояснимо також, що подія (X) одночасно є «головним» для дерева події, і «центральним» — для дерева подій — результатів цієї надзвичайної ситуації.

Дерево подій будується дедуктивно, від головного події (X) до ймовірних причин, рознесених за трьома рівнями, не рахуючи вихідних передумов. При цьому, крім уже згаданих 2-х причин першого рівня — (I) і (Л), у ньому враховані також дві передумови другого рівня — (B) і (E) і чотири передумови третього рівня — (A), (B), (Г) і (Д), а також 12 вихідних подій-передумов.

Зокрема, алфавітний код подій, включених у дерево подій, означає, наприклад, такі причини: (B) — виникнення в країні масових хвилювань і заворушень, (E) — загальний страйк працівників муніципального транспорту, (A) — різке збільшення тарифів на енергоресурси, (B) — спустошення полиць магазинів, (Г) — падіння курсу національної валюти і (Д) — страйк службовців місцевого транспорту.

У свою чергу, цифровий код вихідних передумов цього ж дерева вказує на такі небажані події:

1, 2 — відповідна скупка іноземцями акцій газових і електроенергетичних компаній країни;

3 — небувалий перш сплеск злочинності;

4 — заворушення, викликані масовим розпродажем і безконтрольної скупки землі, а також її виведенням з використання за призначенням;

5, 6 — припинення імпорту товарів масового попиту і вичерпання їх державних запасів відповідно;

7 — відмова іноземних кредиторів від відстрочок у виплаті державного боргу;

8 — різке падіння світових цін на експортовані країною мінерально-сировинні і паливно-енергетичні ресурси;

9 — страйк водіїв транспорту всіх великих міст країни;

10, 11 — відмова службовців колійного або локомотивного господарства галузі від виходу на роботу через її непродумані реструктуризації;

12 — саморозпуск уряду й обох палат парламенту.

Моделювання руйнівних наслідків досліджуваної надзвичайної ситуації здійснюється за допомогою дерева результатів (права частина діаграми), яке будувалося зліва направо, тобто від центральної події до його конкретним реалізаціям. При цьому передбачається, що дана ситуація може розвиватися далі за одним із трьох сценаріїв: (В) — конкурентна боротьба, (М) — рейдерське захоплення, (Р) — заміна менеджменту акціонерами компанії. Ці події першого рівня дослідження, а також алфавітні коди всіх інших рівнів-розгалужень правій частині діаграми (рис. 1) зображені в її відповідних вузлах.

Вважається також, що кожен з перелічених трьох сценаріїв, в подальшому буде розвиватися залежно від створеної ситуації.

Наприклад, конкурентне протистояння може а) спровокувати зовнішню агресію і завершитися поглинанням (О) підприємства, або б) крахом (К) підприємства або в) закінчиться масовими звільненнями (4) і фінансовими (5) втратами (Ж).

Подібні альтернативи можуть мати місце і в рейдерському захопленні: швидке придушення опору (9) або тривала спроба облоги (10) рейдерів, і у зборів акціонерів (зміна керівництва (11) підприємства або проведеної ним політики (12), або — того та іншого разом).

Природно, що кожен варіант розвитку надзвичайної ситуації буде характеризуватися своєю ймовірністю — Q_{rs} і збитком — Y_{rs} . Так само як і те, що деякі з результатів можуть бути в подальшому

піддані деталізації, наприклад, подібно до того, як це зроблено для подій (О), (Ж) і (К), що мають додаткові результати — (1-3), (4 -5) і (6-8) відповідно. При цьому результати (О) і (К) в подальшому відрізняються між собою лиш можливостями і розмірами втрачених а) природних (1, 6) б) матеріальних (2, 7) і в) людських (3, 8) ресурсів підприємства, а результат (Ж) — тільки рівнем збитків для двох останніх.

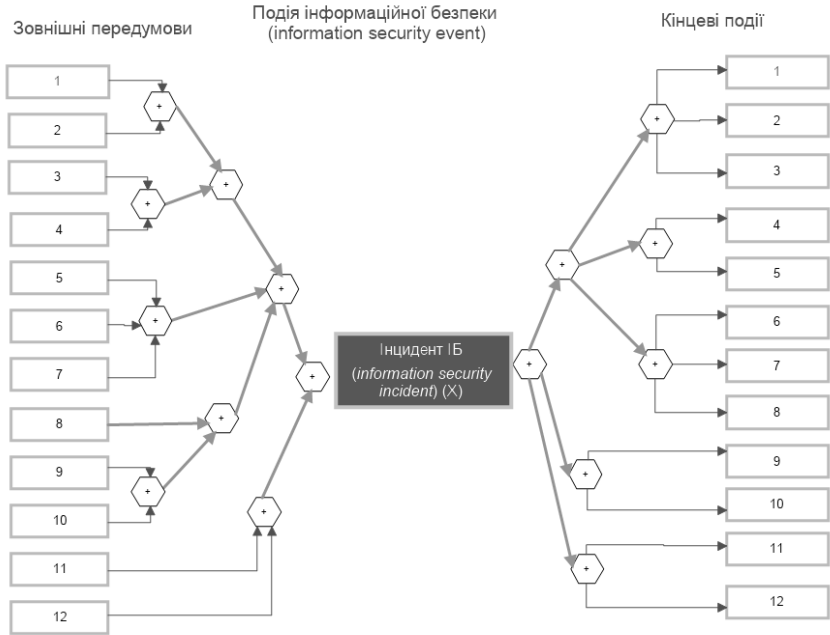


Рис. 1. Діаграма надзвичайної події типу «дерево»

Основною перевагою подібних ситуаційних моделей служить їх придатність як для аналізу умов виникнення і попередження різноманітних надзвичайних подій, так і для синтезу рекомендацій щодо їх попередження і зниження небажаних наслідків. Проілюструємо — як це робиться на прикладі якісного і кількісного системного аналізу зображеної вище діаграми.

У процесі якісного аналізу дерева надзвичайної події, використовуємо так звані «мінімальні поєднання» передумов, що складаються з найменшого числа його вихідних подій і втрачають властиві їм властивості при видаленні бодай одного з них: а) *пропускні* — достатні для появи головної події і б) *відсічні* — гарантують

його відсутність. У нашому випадку може бути виявлено 18 мінімальних пропускових поєднань: 14 *дуплетів* — 3,12; 3,12;4,12; 4,13; 7,12; 7,12; 8,12; 8,12; 9,12; 9,12; 10,12; 10,12; 11,12; 11,12 та 4 *триплетів* [4] — 1,2,12; 1,2,12;5,6,12; 5,6,12, — а також 5 мінімальних відсічних поєднань: один *дуплет* — 11,12 і ще 4 сполучення, які включають у себе по дев'ять вихідних подій-передумов — 1,3-5,7-11; 2,3-5,7-11; 1,3-6, 7-11 і 2,3-6,7-11.

За допомогою виявлених мінімальних поєднань дерева подій можна судити про значимість або критичність кожної вихідної передумови, тобто про внесок у дотримання умов, необхідних для прояву або попередження досліджуваної небезпечної події. Не заглиблюючись в суворіші способи оцінки такого вкладу, відзначимо лише таку його характерну ознаку. Виявляється, що міра значущості конкретної передумови — обернено пропорційна кількості інших суміжних з нею подій мінімального пропускового поєднання, і — пропорційна числу, яке містить її мінімальне відсічне поєднання.

Отже, можна стверджувати, що з врахованих тут подій нижнього рівня лівій частині діаграми (рис. 1), найкритичнішими для даної надзвичайної ситуації виявилися передумови 11 і 12, найменш 1, 2 і 5, 6, тоді як всі інші можна вважати якісно рівнозначними. Справді, хоча виникнення будь-якої з передумов 3, 4, 7-11 і супроводжується одним і тим же внеском в умови появи події, що 11 і 12 (всі вони як би пропускають сигнал, мало не головної події), але вплив останньої пари на нього недопущення (перетин сигналу) значно вище. Інакше кажучи, для того щоб гарантувати неможливість появи моделюємої надзвичайної ситуації, необхідно не допускати в умовах надзвичайного стану ні саморозпуску управління компанією (12) ні розколу (11) між акціонерами і керівником компанії.

Змістовіші висновки і рекомендації можна отримати за допомогою кількісного аналізу діаграми, проведеного на основі відповідних аналітичних залежностей. Для дерева подій, це — функція, яка описує структуру, яка забезпечує проходження сигналу від його вихідних передумов до основної події. Наприклад, використовуючи алфавітно-цифрові коди для передумов дерева подій й позначаючи символами «U» і «∩» оператори диз'юнкції (логічне додавання) і кон'юнкції (логічне множення), нескладно сформувати таку структурну функцію для лівої частини даної ситуаційної моделі:

$$\begin{aligned}
 X &= \text{и} \cap \text{л} = (\text{В} \cup \text{Г} \cup \text{Е}) \cap \text{Л} = [(\text{А} \cup \text{З} \cup \text{4} \cup \text{Б}) \cup \text{Г} \cup (\text{9} \cup \text{Д})] \cap \text{Л} = \\
 &= [[(\text{1} \cap \text{2}) \cup \text{3} \cup \text{4} \cup (\text{5} \cap \text{6})] \cup (\text{7} \cup \text{8}) \cup (\text{9} \cup \text{10} \cup \text{11})] \cap \text{Л} = \\
 &= [[(\text{1} \cap \text{2}) \cup \text{3} \cup \text{4} \cup (\text{5} \cap \text{6})] \cup (\text{7} \cup \text{8}) \cup (\text{9} \cup \text{10} \cup \text{11})] \cap (\text{12} \cup \text{11}). \quad (1)
 \end{aligned}$$

Для дерева ж можливих результатів справедливо наступний аналітичний вираз, який дозволяє спрогнозувати розміри ризику (величини середнього збитку — $M_r[Y]$, очікуваного в разі моделювання і надзвичайної ситуації:

$$R = M_r[Y] = \sum_{k=1}^m Q_{rk} Y_{rk}, \quad (2)$$

де Q_{rk} , Y_{rk} — значення умовної ймовірності та розміру збитків від кожного ($m = 12$) з результатів розташованих у правій частині цього дерева.

Априорну кількісну оцінку, тобто прогноз ймовірності виникнення надзвичайної ситуації $Q(X)$ доцільно проводити двома способами:

а) за допомогою структурної функції (1) після її згортання за правилами булевої алгебри і заміни операторів « \cup » і « \cap » на арифметичні дії « $+$ » і « \cdot », і алфавітно-цифрових кодів змінних — на ймовірності появи відповідних подій-передумов;

б) шляхом послідовного зміцнення дерева подій (тобто згортання від низу до верху тих його гілок, які утворені за допомогою передумов і вузлів «і», «або») в події з еквівалентними параметрами, які розраховуються за такими формулами:

$$P_{(*)} = P_1 \cdot P_2 \cdots P_n = \prod_{i=1}^n P_i;$$

$$P_{(+)} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \cdots (1 - P_m) = 1 - \prod_{i=1}^s (1 - P_i), \quad (3)$$

де $P_{(*)}$ і $P_{(+)}$ — ймовірності виникнення подій, утворених логічним добутком і складанням зумовлених їх передумов;

n , s — кількість подій передумов дерева подій, об'єднаних конкретним вузлом типу «і», «або», відповідно;

P_i — величина ймовірності появи кожної події-передумови.

Співмножники, які входять до правої частини формул (3), можуть бути знайдені за допомогою різноманітних методів априорної та апостеріорної оцінки — експертних, модельних, статистичних. Якщо ж моделюються умови виникнення унікальної (статистично не відтворюється) надзвичайної ситуації, наприклад, — подібно тільки що розглянутої, то значення P_i краще всього визначати методом експертних оцінок, за умови подання цих ймовірностей в вигляді нечітких чисел. Найзручніше це досягається шляхом попередньої апроксимації лівої і правої гілок функції приналежності відповідних чисел так званими (L) і (R) формами [2].

У цьому випадку наближена інтервальна оцінка міри можливо-сті головної події також здійснюється за формулами (1) і (3), тобто за допомогою структурної функції або послідовної декомпозиції дерева події. Особливість полягає в тому, що замість правих частин виразу (3) використовуються відповідні рекурентні формули [1], параметрами яких служать не точкові оцінки ймовірності P_i , а тріади чисел, відповідних: а) найможливішим, б) оптимістичним і в) песимістичним значенням.

Подібним чином — як модельні, експертні або статистичні оцінки, можуть бути знайдені й вихідні дані, які необхідні для прогнозу ризику за формулою (2). При визначенні її параметрів, слід також пам'ятати, що Q_{rk} є умовними ймовірностями, а відповідні їм результати кожного рівня утворюють повну групу незалежних подій. Інакше кажучи, при побудові дерева подій, слід враховувати як умовний характер результатів, так і всі ті комбінації, поява яких не суперечить об'єктивно діючим законів.

Через об'єктивні причини тут не наводяться будь-які вихідні дані про параметри P_i , Q_{rk} , Y_{rk} і вже тим більше — не проводяться засновані на них кількісні розрахунки. Перш за все, — розуміючи, а) цінність подібного ситуаційного моделювання полягає не в точному кількісному прогнозі ймовірності $Q(X)$ і / або ризику $M_r[Y]$, а — в оцінці ефективності різноманітних стратегій щодо недопущення або пом'якшення наслідків цих небажаних ситуацій; б) а також заради часу, необхідного для проведення практично непотрібних обчислень. Так, наприклад, якщо оцінена дослідником ймовірність $Q(X)$ або збиток $M_r[Y]$ перевищать максимально допустимі значення, то він зобов'язаний запропонувати розумні заходи щодо усунення виниклої проблеми.

Виходом з таких ситуацій може бути впровадження додаткових організаційних та інших заходів, спрямованих на попередження надзвичайних подій, або на зниження шкоди від них у разі появи. Очевидно також, що такий захід буде пов'язаний з певними витратами і деякої результативністю, — не обов'язково пропорційної вкладеним коштам. В цих умовах доцільна попередня оцінка ефективності подібних заходів та їх оптимізація з якимись критеріями. Вирішення цього важливого завдання може бути здійснено також за допомогою розглянутих тут ситуаційних моделей типу «дерево». Для визначення ефекту $\Delta Q(X)$ або $\Delta M_r[Y]$, очікуваного від конкретного заходу, необхідно провести розрахунки за формулами (1-3) за новими (зменшених у результаті впровадження) значеннями вихідних даних: а) ймовірності P_i критичних передумов

дерева події або б) ймовірності Q_{rk} і збитку Y_{rk} від найруйнівніших сценаріїв дерева подій. При цьому загальна схема оцінки ефективності конкретних заходів може бути представлена таким чином: $\Delta P_i \rightarrow \Delta Q(X) \rightarrow \Delta M_r[Y]$ та $\Delta Q_{rk} \rightarrow \Delta M_r[Y]$, $\Delta Y_{rk} \rightarrow \Delta M_r[Y]$ відповідно.

Висновки. Незважаючи на простоту запропонованої моделі, основна її мета — ілюстративна, слід зробити деякі висновки та кількісні оцінки, які дуже складно отримати без моделювання.

Ситуаційна модель дозволяє виконувати ранжування факторів, які враховані деревом події в якості вихідних подій-передумов. Дійсно, по-своєму внеску у створення й руйнування причинного ланцюга надзвичайної ситуації, всі вони можуть бути розділені на якісно різноманітні групи. Акцентування цієї обставини буде істотно позначатися на виявленні «вузьких» місць забезпеченні інформаційної безпеки, а значить — і на їх усунення.

Використання запропонованої моделі відкриває перспективу для оптимізації відповідної діяльності. Справді, альтернативних заходів можна запропонувати багато, ефект від кожного з них і витрати на впровадження — різні, а наявні в розпорядженні кошти — як правило не вистачає. Звідси — необхідно знаходити та приймати оптимальне рішення.

При оцінці заходів, які проводяться на основі запропонованих моделей, буде забезпечуватися вища точність прогнозу їх ефективності. Справа в тому, що тут доведеться оперувати абсолютними оцінками ймовірності та / або ризику, достовірність яких низька, а — відносними (різниця вкладу одних і тих же факторів, які вимірюються при інших рівних умовах), що є вірогіднішим.

Бібліографічні посилання

1. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. — М.: ГНТП «Безопасность», 1996. — 424 с.
2. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. — М.: Радио и связь, 1990. — 288 с.
3. В.І. Жлуктенко, А.В. Бегун. Стохастичні моделі в економіці: монографія — К.:КНЕУ — 2007. — 288 с.
4. Kumamoto H., Henley E. Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists IEEE Press. 1996. — 597 p.
5. ISO/IEC TR 18044:2004 «Information technology. Security techniques. Information security incident management».

6. ISO/IEC 27035:2011 «Information technology. Security techniques. Information security incident management».

7. BS 25999-1:2006 «Business continuity management. Code of practice».

Статтю подано до редакції 21.11.2020

УДК: 303.732

DOI 10.33111/mise.100.3

Джалладова І. А., д.ф.-м.н.,
професор кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Dzhalladova I. A., Doctor of Physic Mathematical Sciences,
Professor of the Department of Computer Mathematics and
Information Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЗАГРОЗ СОЦІОКІБЕРНЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ

SYSTEM ANALYSIS OF SOCIOCYBERNETIC SECURITY IN A PANDEMIC CONDITIONS

Анотація. Метою роботи є системний аналіз логічних, структурних зв'язків між різними загрозами соціокібернетичної безпеки. При чому включаємо в розгляд широкий спектр різних складових, різних розумінь соціокібернетичної безпеки: безпеку технічних систем, безпеку кіберпростору, безпеку кібер-фізичних систем тощо. Все майже не вивчено і не досліджено в цілому. Поняття «соціо-кіберфізичні системи» — взагалі новий, але перспективний інноваційний напрям. CPS (2006) — це системи, які складаються із різних об'єктів штучних підсистем, контролерів, які поєднуються в єдине ціле. Додаючи термін «social» маємо на увазі, що в будь-яку із перелічених підсистем додаємо людину і суспільство. Джерелом появи складних систем можна вважати появу найскладніших, різноманітних механізмів, що запропоновано внаслідок засвоєння наукою автоматизованих, сенсорних та інших систем. Соціокібернетичні системи засновано на інженерному моделюванні та здатні пристосовуватись до широкого спектра змін. Стаття є актуальною і перспективною науковою роботою. Перспективною є ідея створити опис певного механізму, який би на кшталт «комбайна з кліщами», спостерігаючи за різними аспектами підсистем, збирав би і аналізував до якої із підсистем віднести склад, якість загроз, і вже тоді обирав би відповідний алгоритм дій. Упродовж тисячоліть побудовано сотні тисячі різних методів та інструментів, але в сучасних умовах жодний не є готовим. Власно ситуація з COVID-19 це показала. Гнучкість розуму і комбінація різних методів це єдиний ключ у сфері моделювання різних процесів, у тому числі процесів, пов'язаних

з безпекою. Крім того, варто зазначити, що ІТ-інструменті не завжди є універсальними. В моделюванні зазначених процесів важливий баланс знань у галузі економіки, політики, ІТ, кібербезпеки та інших. Важливо також розуміти, що на початкових етапах створення алгоритмів захисту соціокібернетичної системи треба розглядати у звичайному розумінні — розумінні соціобезпеки. Для цього необхідно встановлювати зв'язки між різними процесами підсистем. У даному дослідженні запропонований підхід першого початкового етапу — побудовано логіко-структурні зв'язки між складовими підсистемами соціокібернетичної безпеки загрози соціобезпеки. **Ключові слова:** соціокібернетична безпека; рівні соціобезпеки; пандемія; системний аналіз; соціоетальна безпека.

Abstract. The aim of the work is a systematic analysis of logical, structural connections between various threats to socio-cybernetic security. Moreover, we include in our consideration a wide range of different components, different understandings of socio-cybernetic security; security of technical systems, cyberspace, security of cyber — physical systems, etc. Everything is almost not studied and not studied in general. The concept of «sociocyber-physical systems» is a completely new, but promising innovation. CPS (2006) — a system that consists of various objects of artificial subsystems, controllers, which are combined into a single unit. Adding «social» we make in mind that in any of the listed subsystems we add the human and the society.

The source of the emergence of complex systems can be considered the emergence of the most complex, diverse mechanisms, which is proposed due to the assimilation of automated, sensory and other systems. Socio-cybernetic systems are based on engineering modelling and are able to adapt to a wide range of changes. The article is relevant and promising scientific work. The idea of creating a description of a certain mechanism, which would be like a «combine with pincers», observing various aspects of subsystems, would collect and analyse to which of the subsystems to attribute the composition, quality of threats, and then choose the appropriate algorithm. Hundreds of thousands of different methods and tools have been built over the millennia, but in modern conditions none is ready. Actually, the situation with COVID-19 showed it. The flexibility of mind and a combination of different methods is the only key to modelling different processes, including security-related processes. In addition, it should be noted that IT tools are not always universal. In modelling these processes, the balance of knowledge in the field of economics, politics, IT, cybersecurity, etc. is important. It is also important to understand that the initial stages of creating algorithms for the protection of the sociocybernetic system should be considered in the usual sense-understanding of social security. To do this, it is necessary to establish links between different processes of subsystems.

Keywords: socio-cybernetic security; levels of social security; pandemic; system analysis; societal security.

Вступ. Системний аналіз соціобезпеки є першочерговою задачею для дослідників в умовах загрози людству (в першу чергу, пандемій) та вимагає поглибленого аналізу всіх своїх компонентів — організаційних, економічних, юридичних, технічних і технологічних [6]. Аналіз загрози соціобезпеки є актуальним для того, щоб мати можливість протиставлення діям, які підривають механізм відновлення людини та соціуму, забезпечення мрії кожної людини на щасливе, безтурботне, захищене по усіх аспектах

життя у сучасних розвинутих країнах. Науковцям доцільно розробляти також математичні моделі для проведення аналізу і прийняття рішень як у цілому, так і по кожному напрямку соціокібернетичної безпеки. Про всі зазначені проблеми їде мова в даній роботі. Крім того, наведено ідеї наступних досліджень, бо існування в умовах загрози життю показало, що кожний науковець повинний робити все, що від нього залежить для формування рекомендацій у вигляді точкових ударів по загрозах на всіх рівнях в умовах пандемії і, як наслідок, сприяння посиленню національної безпеки [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якщо проблема соціобезпеки завжди була в центрі уваги представників різних політиків, державних діячів, науковців, практиків, то проблема соціокібернетичної безпеки в сучасному сенсі є новою. Актуальними є різні аспекти проблем соціокібернетичної безпеки (в тому числі її складової соціобезпеки) [5]. Вони стосуються визначення сутності соціокібернетичної безпеки, розробки і реалізації політики і стратегії, формування і функціонування системи її забезпечення [7].

Аналіз наукової літератури дозволяє говорити, що вже на початковому етапі вивчення проблеми безпеки існували різні точки зору і погляди на проблему соціальної безпеки [4]. У період античної філософії безпека розумілася як закон. Діяльність людини спрямована, в першу чергу, на самозбереження. При цьому забезпечення соціальної безпеки співгромадян розглядалося як найважливіше завдання державної діяльності. Платон розумів соціальну безпеку як «допомогу» і «порятунок». Інший погляд на проблему соціальної безпеки пропонував Аристотель. Він вказував на те, що «людина за своєю природою істота політична» і розглядав соціальну безпеку через образ політизованої культури.

Аналогічна точка зору характерна для кініків (Антісфен, Діоген), які джерело небезпек для людини бачили у владі, багатстві і славі. На їхню думку, самообмеження, відмова від чужого і турбота про «своє» благо є найважливішою умовою соціальної безпеки особистості. Забезпечення ж безпеки залежить від повної самодостатності індивіда. В епоху правління Олександра Македонського і Римської імперії погляди на соціальну безпеку різко змінилися. Система безпеки стала створюватися лише з метою забезпечення особистої безпеки правлячих кіл держави. Слід зазначити, що філософи епохи Відродження розуміли соціальну безпеку як головний початок усього життя суспільства, як фактор зовнішньої та внутрішньої політики держави. Виникає розуміння того, що не тільки від окремої людини, але і від держави залежить забезпечення особистої

та громадської безпеки, попередження можливої небезпеки, що виходить від стихійних лих і, безсумнівно, від інших держав.

Дослідженням проблем соціальної безпеки займався також англійський філософ Дж. Локк. Їм було сформульовано новий підхід до аналізу безпеки, що включав дослідження процесів і явищ, що руйнують механізм управління країною. Також Дж. Локк особливо виділив важливу область безпеки — економічну, підкреслюючи, що головним завданням держави є захист власності. Подальший розвиток проблема соціальної безпеки отримала в працях мислителів епохи Просвітництва. Французькі просвітителі (Вольтер, Ж. Ж. Руссо, Д. Дідро, П. Гольбах) обґрунтували тезу про нереальність безпечного розвитку нації без гарантій безпеки кожного окремого громадянина. Таким чином, представники німецької класичної філософії відводили рішучу роль у забезпеченні соціальної безпеки держави. Відмова ж держави від цієї функції неминуче веде до деградації всіх суспільних відносин, деструкції соціального порядку, зняття духовно-моральних, правових і культурних обмежень, прояву егоїзму, низьких інстинктів, насильства над людиною. На їхню думку, саме це виступає першопричиною всіх небезпек і загроз для існування особистості, соціальних груп, держав, цивілізацій і людства в цілому.

В період панування статистичної картини світу з'явилася необхідність забезпечення безпеки в усіх сферах життя суспільства, у зовнішній і внутрішній політиці держави, вводиться новий напрямок діяльності — забезпечення соціальної безпеки. Одним з перших дослідників, які зайнялися вивченням проблеми соціальної безпеки, був французький соціолог О. Конт. На його думку, економічні зв'язки самі по собі не гарантують стабільність суспільства, його безпеку, вони не можуть приборкати руйнівний вплив егоїзму і агресивності. О. Конт вважав, що стійкий соціальний зв'язок передбачає соціальні механізми регулювання соціальних відносин, певну єдність вірувань, переконань і соціальних почуттів. У концепції О. Конта безпека суспільства — це порядок чи статика, які порушуються внаслідок різних проявів суспільного цілого. Г. Спенсер вважав завданням соціології вивчення масових типових явищ, соціальних фактів, які розкривають дію загальних законів еволюції, процесів, що відбуваються незалежно від волі окремих особистостей. Для розуміння проблем безпеки велике значення має концепція соціальних інститутів, розроблена Г. Спенсером, згідно з якою соціальні інститути — це механізми самоорганізації спільного життя людей.

Таким чином, як було виявлено через огляд наукової літератури, соціобезпека розглядалася по-різному, уявлення про її природу постійно змінювалося, поступово відбувалося усвідомлення складної природи цього феномена, ставлення дослідників до процесів її забезпечення було різним. Різними були і громадські, і групові, і індивідуальні стереотипи, сформовані в наукових картинах світу, і їх реакція на ставлення до соціальної безпеки. Відповідно до цього, соціальна безпека не має сенсу поза картини світу, що її оточує, без схем, теоретичної конструкції і усталених уявлень, а також сформованих стереотипів у суспільстві [3].

Постановка проблеми. Метою роботи є системний аналіз логічних, структурних зв'язків між різними загрозами соціокібернетичної безпеки. Дослідити різноманітність зв'язків між аспектами соціокібернетичної безпеки на першому етапі — аспектів загроз соціобезпеки, з наступним формулюванням пакету рішень у вигляді точних покрокових дій для прийняття оптимальних рішень в умовах пандемії, як універсального поля, до якого належить соціобезпеки людини та суспільства. Крім того, на концептуальному рівні уточнити поняття та їх логічне використання у практичній діяльності, побудувати показники оцінки соціобезпеки та дослідити їх вплив на економічну безпеку в цифровому суспільстві.

Соціобезпека [2] — це стан і характеристика міри досягнення оптимального рівня безпеки функціонування, розвитку цифрового суспільства, яке забезпечується сукупністю політичних, правових, економічних, організаційних, соціопсихологічних напрямів, які дозволяють зберігати соціальну стабільність у цифровому суспільстві. Якщо під безпекою розуміти відсутність загроз і стійкість до загроз у кіберпросторі, то варто соціобезпеку в цифровому суспільстві розглядати як багаторівневу структуру. В першу чергу, у широкому сенсі, соціобезпека зорієнтована на забезпечення відповідної мети та напрямку розвитку цифрового суспільства, засобів задоволеності потреб особистості, захисту її інтересів на базі принципів гуманізму і гармонії всіх елементів соціальної структури, запобігання деструктивних явищ та процесів. У вузькому сенсі, треба виділяти суб'єкти, об'єкти і зміст відносин між ними в багаторівневої структурі соціобезпеки (рис 1).

Щоб уявити собі дію цього рівня соціобезпеки в цифровому суспільстві, треба кожен із складових розглядати з урахуванням її окремої дії у цифровому суспільстві і багаторівневого накладання зв'язків між різними об'єктами і суб'єктами.

У свою чергу, кожна із складових також має свої рівні (рис. 2):

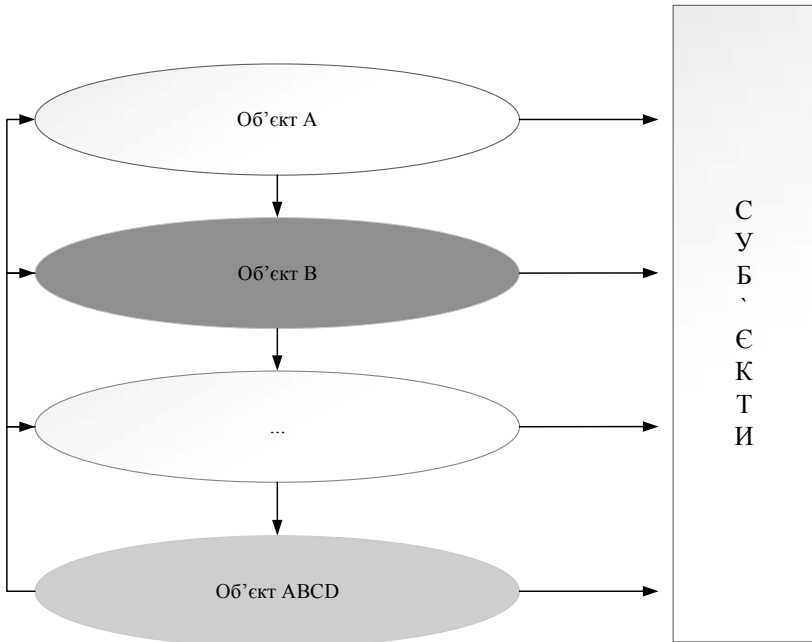


Рис. 1. Багаторівнева структура соціобезпеки
(розроблено автором)

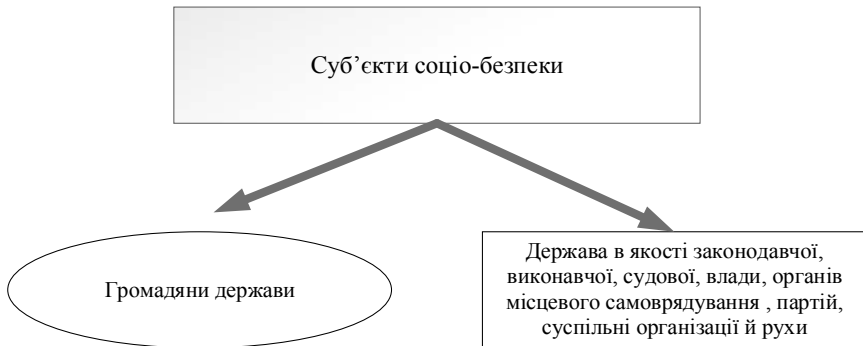


Рис. 2. Суб'єкти соціобезпеки
(розроблено автором)

Основні результати. Фактори, що забезпечують соціобезпеку в цифровому суспільстві: сприятливі соціоекономічні умови; економічне зростання; забезпечення зайнятості, зокрема, в цифровому суспільстві дистанційної роботи за новим трудовим кодексом; запобігання демографічній кризі; забезпечення доступності різних верств населення до систем освіти, охорони здоров'я; інститут соціального захисту; культурні цінності, створення дієвої системи безпеки людини, охорони власності людей, у тому числі, інтелектуальної власності. Відповідно кожний із факторів знаходиться під впливом загроз. Складемо умовні логіко-структурні зв'язки між загрозами: (рис. 3):

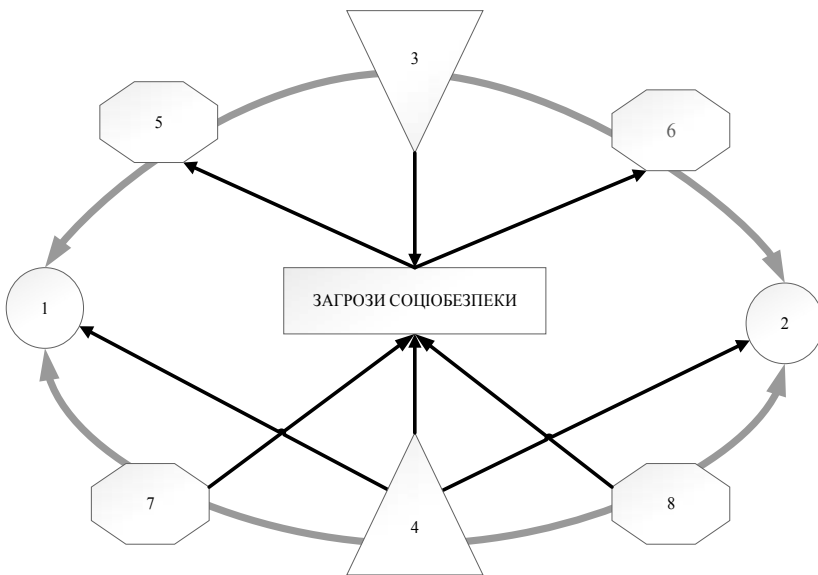


Рис. 3. Логіко-структурний зв'язок між загрозами соціобезпеки
(розроблено автором)

де 1 — загрози, породжені недоліками в політиці та діями державних і політичних лідерів, загрози від владних інститутів;

2 — загрози, пов'язані з національними суперечками, конфліктами інтересів центру і регіонів, порушенням прав і свобод громадян, міжетнічних конфліктів;

3 — загрози, викликані порушенням законних прав, свобод на освіту, охорону здоров'я, нездатністю держави їх захистити;

4 — загрози, обумовлені кримінальною ситуацією, зростанням злочинності, в тому числі, і кіберзлочинності;

5 — загрози обумовлені екстремізмом, тероризмом;
6 — загрози здоров'ю населення в результаті погіршення системи охорони здоров'я, медичного обслуговування, масового розповсюдження інфекційних захворювань, наркоманії, алкоголізму, пандемії, психічних хвороб;

7 — загрози, пов'язані з деградуванням населення і навколишнього середовища та життєдіяльності населення;

8 — загрози обумовлені якісними змінами самої ЛЮДИНИ-ГОМОСАПІЕНСА, збільшення егоїстів, кількісними змінами демографічної ситуації в країнах, регіонах, етносі.

Твердження. На вході запропонованого аналізу зазначені вище фактори. На виході — СОЦІАЛЬНА ТРАНСФОРМАЦІЯ, а саме: нестійкість соціальних структур, процеси деградації, узурпації влади не тільки на рівні держави, регіонів, але і в сім'ях. Це і будемо вважати ІНДИКАТОРОМ НЕ ЛИШЕ СОЦІО-БЕЗПЕКИ, А Й ІНДИКАТОРОМ СОЦІОКІБЕРНЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ.

Для наступного кроку аналізу вводимо 5 рівнів соціобезпеки (рис. 4)

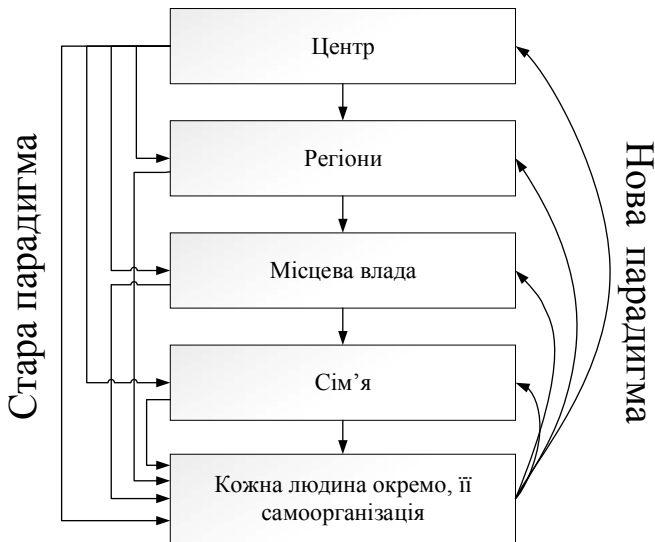


Рис.4. Рівні соціобезпеки
(розроблено автором)

На кожному з рівнів повинен бути проведений аналіз і побудовані інтегральні коефіцієнти оцінки соціобезпеки, які будуть вчасно сприяти проведенню необхідних кроків по недопущенню

дестабілізації і соціальних потрясінь. Наприклад, у роботі [8] проаналізовано один із важливих напрямів соціокібернетичної безпеки — модель проблеми дослідження стійкості відновлення населення під час пандемії.

Висновки. Наведені результати свідчать, мабуть, про певні протиріччя: здавалося, що з одного боку людина, а з іншого боку технічні, кібер-фізичні механізми, держава. Як би людина сама забезпечує власну безпеку, а з іншого боку це місія інших структурних компонентів системи. Але все стає зрозумілим після проведеного аналізу. Навіть у такій складній системі як соціокібернетична безпека, основним атомом є людина, тобто соціокібернетична система починається з безпеки людини, яка власно кажучи, починається з самої людини. Соціокібернетична безпека — це наріжний камінь соціальної політики, соціальної культури, соціальних прав, національної безпеки держави. Вченими введено поняття соціетальної безпеки [6], але воно є новим і недостатньо вивчено. Соціетальна безпека — поняття, яке позначає здатність цифрового суспільства зберігати свою сутність в умовах, що постійно змінюються, і при реальних або уявних загрозах. Соціетальну безпеку можна розглядати як частину соціокібернетичної безпеки. При додаванні соціетальної безпеки як елемента в запропоновану соціокібернетичну систему безпеки, зрозуміло, що певні структурні зв'язки зміняться. Майбутні дослідження покажуть в який бік, але прогностичний системний аналіз дає надію, що система стане простише і зручніше для алгоритмізації.

Бібліографічні посилання

1. Концепція (основи державної політики) національної безпеки України: постанова Верхов. Ради України від 16 січ. 1997 р. № 397. Відом. Верхов. Ради України. — 1997. — № 10.
2. Чоловік і наука URL: <http://cheloveknauka.com>
3. Соціальна безпека: теорія та українська практика : монографія / І. Ф. Гни-біденко, А. М. Колот, О. Ф. Новікова та ін. ; за ред. І. Ф. Гнибіденка, А. М. Колота, В. В. Рогового. — К.: КНЕУ, 2006. — 292 с.
4. Управління соціальним і гуманітарним розвитком: навч. посіб. / [авт. кол.: В. А. Скуратівський, В. П. Трощинський та ін.]; за ред. В. А. Скуратівського, В. П. Трощинського: у 2 ч. — К.: НАДУ, 2009. Ч. 1. 456 с.
5. Cassano-Piché, A., Vicente, K., & Jamieson, G.A. (2006). A Sociotechnical Systems Analysis of the BSE Epidemic in the UK Through Case Study. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 50, 386 — 390.

6. Lalonde, C. Crisis management and Organizational development: towards the conception of a learning model in crisis management. *Organization Development Journal*, 2007. 25, 17.

7. Rahman, S., Momtazpour, M., Zhang, J., Sharma, R., & Ramakrishnan, N. (2015). Analyzing Invariants in Cyber-Physical Systems using Latent Factor Regression. URL: <https://doi.org/10.1145/2783258.2788605>

8. Джалладова І. А., Бабинюк О. І., Лютий О. І. Модифікація методів дослідження системи різницевих рівнянь з випадковими коефіцієнтами для аналізу загроз соціобезпеки в умовах пандемії. Моделювання та інформаційні системи в економіці. №.99, К., КНЕУ, 2020. С.60-74.

Статтю подано до редакції 04.11.2020

УДК 336:330.4

DOI 10.33111/mise.100.4

Єрешко Ю. О., к.е.н.,

доцент кафедри теоретичної та прикладної економіки,

КПІ ім. І. Сікорського

Товмасян В. Р.,

докторант,

ПВНЗ «Європейський університет»

Yereshko J. O., PhD,

Associate Professor, Department of theoretic and applied economics,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

Tovmasian V. R., PhD,

doctoral,

Private Higher Educational Institution «European University»

МОДЕРНІЗАЦІЯ ФІНАНСОВОЇ ПОЛІТИКИ ПІДПРИЄМСТВА: ІМПЕРАТИВНО-ДИСПОЗИТИВНИЙ ПІДХІД

ENTERPRISE FINANCIAL POLICY MODERNIZATION: IMPERATIVEE-DISPOSITIVE APPROACH

Анотація. Визначено, що з використанням імперативного підходу до імплементації фінансової політики підприємства, альтернатива рішень можлива лише по завершенні процесу при переході до наступної детермінації імператив або, в процесі нагальної альтернативі, наявна система прийняття рішень втрачає свою актуальність. Звідси, перше і друге призводять до появи часових і функціональних лагів у системі, зниженні ефективності, збільшенні витрат часу і ресурсів, подовженні управлінських, а відповідно, операційного і фінансового циклів, що в свою чергу нівелює економічну і аерентну сутність фінансової політики саме як політичного комплексного процесу.

Обґрунтовано ієрархічну особливість імперативізації фінансової політики підприємства, яка визначає наслідковий порядок розробки її детермінант

— категоричними імперативами для неї виступатимуть дії з метою реалізації цілей і завдань розвитку підприємства, а дії щодо власної модернізації — відповідно, гіпотетичними. Водночас, надання гіпотетичності модернізаційним імперативам фінансової політики знижує їх роль в забезпеченні реалізації модернізаційних імперативів підприємства.

Узагальнено визначення алгоритму як чітко детермінованих інструкцій до послідовних дій, що ґрунтуються на чітко таргетованих проміжних і кінцевих результатах. Що, в свою чергу, опосередковує можливість впровадження системи точкового контролю виконання алгоритму шляхом визначення маркерів і формулювання їх параметрів з встановленням меж граничних відхилень. Синтез сформульованого нами визначення алгоритму з описаним імперативно-диспозитивним підходом до імплементації фінансової політики підприємства та її агерентна сутність, дозволяє припущення про доцільність і можливість алгоритмізації політичного фінансового процесу. При цьому, альтернативність і безальтернативність диспозиції означитиме відповідно наявність чи відсутність альтернативних алгоритмів рішень, тобто наявність чи відсутність «свободи маневру» елементів системи.

Визначено, що алгоритмування на основі маркерів таргетів надає можливість реалізації механізму вбудованого контролю та оперативного регулювання на зміну поточних умов життєдіяльності компанії не з позиції перебудови алгоритмів, а в розрізі зміни параметрів маркерів таргетів. При цьому, таргети мають бути чітко корелювати з відповідними системами політики і суб'єктами відповідальності.

Ключові слова: фінансова політика підприємства; імператив; диспозитив; алгоритм; таргет, маркер.

Abstract. It has been determined that using the imperative approach to the enterprise financial policy implementation, the alternation of decisions is possible only after the process ends, that is during the transition to the next determination of the imperatives or, in the process of acute alternation, the existing decision-making system loses its relevance. Hence, the first and the second lead to the appearance of time and functional lags in the system, a decrease in efficiency, an increase in the time and resources spent, lengthening of management, and, accordingly, operational and financial cycles, which in turn eliminates the economic and agerent essence of financial policy as a political complex process. Hence, the first and the second lead to the appearance of time and functional lags in the system, a decrease in efficiency, an increase in the time and resources spent, lengthening of management, and, accordingly, operational and financial cycles, which in turn eliminates the economic and agerent essence of financial policy as a political complex process.

The hierarchical feature of the enterprise financial policy imperativeness is substantiated, which determines the consequential procedure for its determinants development — categorical imperatives for it will be actions to achieve the goals and objectives of enterprise development, and actions concerning own modernization — accordingly become, hypothetical. At the same time, provided hypotheticalness to the modernization imperatives of financial policy reduces their role in ensuring the implementation of modernization imperatives of the enterprise.

The definition of the algorithm as clearly determined instructions for sequential actions based on clearly targeted intermediate and final results was generalized. This, in turn, mediates the possibility of introducing a system of point control of the algorithm execution by determining markers and formulating their parameters with the establishment of the limits of maximum deviations.

Synthesis of our definition of the algorithm with the described imperative-dispositive approach to the implementation of financial policy of the enterprise and its agerent essence, allows assumptions about the feasibility and possibility

of the political financial process algorithmization. In this case, the alternative and non-alternative disposition means, respectively, the presence or absence of alternative decision algorithms, that is, the presence or absence of «freedom of maneuver» of the system elements.

It was determined, that algorithm based on target markers provides an opportunity to implement a mechanism of built-in control and prompt response to changes in current economic conditions of the company not from the standpoint of algorithm restructuring, but in terms of changing parameters of target markers. In doing so, targets should be clearly correlated with the respective policy frameworks and stakeholders.

Keywords: *enterprise financial policy; imperative; disposition; algorithm; target, marker.*

Постановка проблеми. Зазвичай, за використання лише імперативного підходу, фінансова політика розробляється як система рішень з визначеними ресурсами і елементами впливу і кінцевою метою.

Звідси, наочною стає редукованість використання виключно імперативного підходу. Так, альтернація рішень можлива лише по завершенні процесу при переході до наступної детермінації імператива або, в процесі нагальної альтернації, наявна система прийняття рішень втрачає свою актуальність. Звідси, перше і друге призводять до появи часових і функціональних лагів у системі, зниженні ефективності, збільшенні витрат часу і ресурсів, подовженні управлінських, а відповідно, операційного і фінансового циклів, що в свою чергу нівелює економічну і агерентну сутність фінансової політики саме як політичного комплексного процесу. При чому, наявність поточного контролю і контрольних точок імперативним підходом не заперечується, однак, разом з тим, будь який агерентний результат такого контролю призводить до призупинення управлінського процесу з метою його перебудови відповідно до виявлених невідповідностей визначеним параметрам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На жаль, існуючий науковий доробок бракує однозначного формулювання теоретико-методологічного підходу до розробки та імплементації, а також, модернізації фінансової політики підприємства.

Водночас, запропонований нами попередньо у [1, 2] понятійно-категоріального апарату та визначених економічної сутності фінансової політики підприємства як цілеспрямованої діяльності направленої на прийняття відповідальних рішень стосовно управління фінансами з метою досягнення та збереження фінансової стабільності, економічної безпеки і сталого розвитку підприємства; його стратегічних цілей і тактичних завдань, і агерентної сутності фінансової політики підприємства як інструменту фінансового менеджменту, що в процесі реалізації своїх функцій, не тільки втілює

управлінську сутність останнього, а й приводить у відповідність всі ланки і складові підприємства, виступаючи, тим самим, узгоджувальним елементом цієї складної багатоаспектної системи, а також, розробленого механізму і порядку її імплементації, і доведеної потреби до застосування імперативно-диспозитивного підходу до її модернізації, що дозволяє гнучкість, нагальність реагування на нові входні параметри та вбудований контроль на основі використання диспозиційних алгоритмів, опосередковують потребу у формулюванні теоретико-методологічних засад його реалізації.

Зважаючи на запропоноване нами тлумачення фінансової політики підприємства, як управлінської системи, заснованої на розробці альтернативних алгоритмів дій з чітким розподілом повноважень і відповідальності, що забезпечує вбудований контроль її імплементації, постає потреба у формулюванні теоретико-методологічного підходу до її формування на основі визначених модернізаційних дій.

Теорія алгоритмів знайшла широкого відображення в працях таких вчених, як: А. Черч, Е. Пост, А. Тюрінг, Г. Стоун [3], Д. Кнут [6] та ін.

Невирішені частини загальної проблеми. Ведучи мову про імперативи фінансової політики підприємства, належить пам'ятати про багатоаспектність цього поняття. Імператив фінансової політики насамперед трактується як вимога сформувати комплексну структуровану систему управлінських рішень як наріжну і невід'ємну складову системи управління підприємством, що забезпечує його розвиток і необхідні ресурси та умови функціонування, досягнення цілей. Одночасно, досягнення цілей менеджменту не завжди співпадає з цілями стейкхолдерів або власників, створюючи конфлікт наступного щабля з точки зору протиставності потреб ініціатора бізнесу та, власне, бізнесу. Знову ж таки, такі конфлікти забезпечують наступний поступ у розвитку як підприємства, так і управлінської системи і фінансової політики як його елемента.

Імперативи фінансової політики належить, також, розуміти як конкретні вимоги опосередковані діяльністю підприємства до задоволення його потреб у процесі господарювання. З іншого боку, вони можуть описані як директиви, безпосередньо адресовані суб'єктам фінансової політики щодо організації фінансово-економічних відносин в процесі життєдіяльності компанії.

Отже, імперативи фінансової політики підприємства визначаються перш за все не потребами фінансової політики, а потребами системи вищого порядку і визначаються, відповідно імперативами цієї вищої системи. Ієрархічна особливість імперативізації фінан-

сової політики підприємства визначає наслідковий порядок розробки її детермінант — категоричними імперативами для неї виступатимуть дії з метою реалізації цілей і завдань розвитку підприємства, а дії щодо власної модернізації — відповідно, гіпотетичними. Водночас, надання гіпотетичності модернізаційним імперативам фінансової політики знижує їх роль у за безпеченні реалізації модернізаційних імперативів підприємства.

Таким чином, наріжною стає потреба у ліквідації згаданої редукованості і дотримання принципів системності, комплексності, альтернативності, багатоваріантності, достовірності, досяжності, ефективності, послідовності і наступності, що може бути забезпечена, на наш погляд, лише використанням імперативно-диспозитивного підходу до формування та імплементації фінансової політики підприємства.

Метою статті є формулювання теоретико-методологічного підходу до модернізації фінансової політики підприємства на основі синтетичного розширення імперативного підходу постановкою диспозицій, що вирішує проблему редукованості імперативного підходу, а також, надає процесу її імплементації характеристики автоматичності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Алгоритмічність у діях живих організмів, природи та людини простежується на рівні формування умовних і безумовних рефлексів: від реакції рослин на рух сонця, в поступовому переході до кожного наступного щаблю розвитку з формування почек до цвітіння, плодоносіння, підготовки до зимування, — при чому, за різкої альтернації умов існування та навколишнього середовища, рослини автоматично запускають закладені у геномі механізми реакції та захисту до підсвідомої (а отже рефлексивно вбудованої) реакції людини на опік з автоматичним відніманням руки від джерела нагрівання і запуском організмом комплексу регенераційних процесів. Алгоритмічність, також, властива всій сукупності методів наукових досліджень у їх поступовій наступності і закономірній умовності; комплексам управлінсько-господарських рішень економічних агентів; вона є також основою технічних пристроїв, приладів і способів господарювання. Так, алгоритмічність природних циклів, розвитку та життєдіяльності живих організмів, наукових теоретичних та емпіричних досліджень, формування управлінських рішень існувала завжди у вигляді: методології досліджень та експериментів вченого, послідовності та альтернативності рішень фермера в процесі вирощування врожаю, виходячи із заданих і змінних параметрів, навіть, у діях водіїв і пішоходів як учасників руху. Алгоритми при-

сутні скрізь, разом з тим, поняття «алгоритму» з'явилося у науковому вжитку нещодавно, — лише на початку минулого сторіччя, а сутнісна природа цього концепту тривалий час уявлялась як науковцями, так і широким загалом, радше на інтуїтивному рівні.

Неформалізованим визначенням поняття «алгоритм» може бути «набір правил, що точно визначає послідовність операцій» [3], що визнає «алгоритмом» не тільки всі комп'ютерні програми (включаючи програми, що не виконують числові обчислення), а і, наприклад, будь-яку усталену бюрократичну процедуру [4] або, навіть, рецепт кулінарних книг [5].

Загалом, Г. Стоуном визначено, що основною ознакою детермінації бюрократизованої послідовності дій як алгоритму є ознака скінченності — процес «є алгоритмом якщо він врешті зупиняється, навіть незважаючи на те, що іноді нескінченні цикли можуть виявитися більш бажаними» [3]. Прототипним прикладом алгоритму є загальновідомий алгоритм Евкліда, використовуваний для визначення максимального спільного дільника двох цілих чисел.

Методологія науки детермінує алгоритм в якості базового концепту, що складає основу опису методів у розрізі їх формалізації як оптимального набору послідовних дій з наближенням до таргетованого (прогнозованого, встановленого, визначеного) абсолюту, — тобто, дотримання послідовності передбачених алгоритмом дій за інших рівних умов призводить до запрограмованого результату. Концепція алгоритму також використовується для визначення поняття «розв'язуваності» — поняття, яке є центральним для пояснення того, як виникають формальні системи, виходячи з невеликого набору аксіом і правил.

Так, алгоритм — це точні інструкції для швидкого, ефективного, «хорошого» [6] процесу, який визначає «рухи» «комп'ютера» (машини або людини, оснащених необхідними внутрішніми компонентами, інформацією і можливостями) [3], щоб знайти, декодувати і потім обробити довільні вхідні цілі числа / символи і «ефективно» [6] зробити в «розумний» час [3] ціле число на виході з визначеними параметрами. Звідси, можна узагальнити визначення алгоритму як чітко детермінованих інструкцій до послідовних дій, що ґрунтуються на чітко таргетованих проміжних і кінцевих результатах. Що, в свою чергу опосередковує можливість впровадження системи точкового контролю виконання алгоритму шляхом визначення маркерів і формулювання їх параметрів з встановленням меж граничних відхилень. Алгоритми завжди однозначні і використовуються як специфікації для виконання розрахунків, обробки даних, автоматизованих міркувань та інших завдань.

Попередньо у [2], нами описано, принцип диспозиції, в основі якого лежить «кероване волевиявлення» в межах, встановлених нормами і правилами, тобто — дозволена (можлива), обов'язкова (необхідна) або заборонена (неприпустима) поведінка суб'єкта і визначено, що диспозиція виявляється сутнісно як реалізація імперативу в межах визначених (ним) дій, що в рамках вищевикладеного дозволяє припущення про неї як про неформалізований алгоритм.

Звідси, синтез сформульованого нами вище визначення алгоритму з описаним нами [2] імперативно-диспозитивним підходом до імплементації фінансової політики підприємства та її агерентна сутність, дозволяє припущення про доцільність і можливість алгоритмізації політичного фінансового процесу.

При цьому, альтернативність і безальтернативність диспозиції означитиме відповідно наявність чи відсутність альтернативних алгоритмів рішень, тобто наявність чи відсутність «свободи маневру» елементів системи. Водночас, всі альтернативні системи рішень є алгоритмами, а отже формалізованими бюрократизованими системами з чіткою послідовністю дій і, по суті, відсутність «проблеми вибору». Вибір алгоритму рішень при цьому має визначатись автоматично, не дозволяючи інтуїтивність і порушення формалізації управлінського процесу. Для цього необхідно впровадження системи таргетів (поточних та кінцевих) та їх маркерів, з детермінованими параметрами та встановленими граничними відхиленнями від визначеної «норми». Методика розробки фінансової політики підприємства на основі імперативно-диспозитивного підходу на основі алгоритмізації представлена на рис. 1.

Для забезпечення максимальної автоматизації політичного процесу, доцільно здійснювати його алгоритмізацію на основі маркерів по детермінованих у процесі формування диспозицій таргетах (рис. 1). При чому, систему таргетів та їх кількість кожне підприємство визначає самостійно відповідно до визначених імперативів фінансової політики та її виду, опосередкованих модерними потребами компанії. На наш погляд, таргети доцільно формувати у лінійній та/або матричній перспективі з фіксацією заданих необхідних параметрів показника точкової результативності системи реалізованих рішень. Так, при визначенні лінійних таргетів, параметрами системи буде значення показника та часова точка контролю. Матрична ж система таргетів дозволяє компонувати кілька детермінуючих показників з врахуванням їх релевантності. Так, досягнення таргету з вищою релевантністю може бути умовою продовження

виконання даного алгоритму рішень, за умови задоволення мінімально-допустимому відхиленню контрольних значень маркерів таргетів нижчої релевантності (рис. 2).

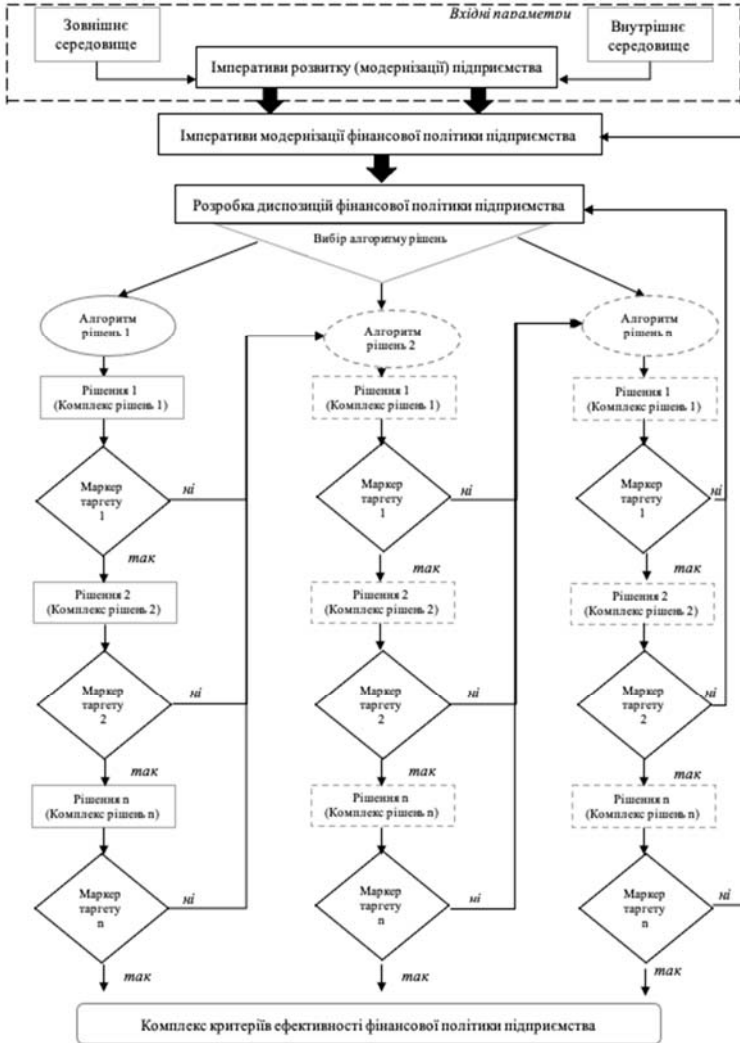


Рис. 1. Методика розробки фінансової політики підприємства на основі імперативно-диспозитивного підходу (розроблено автором)

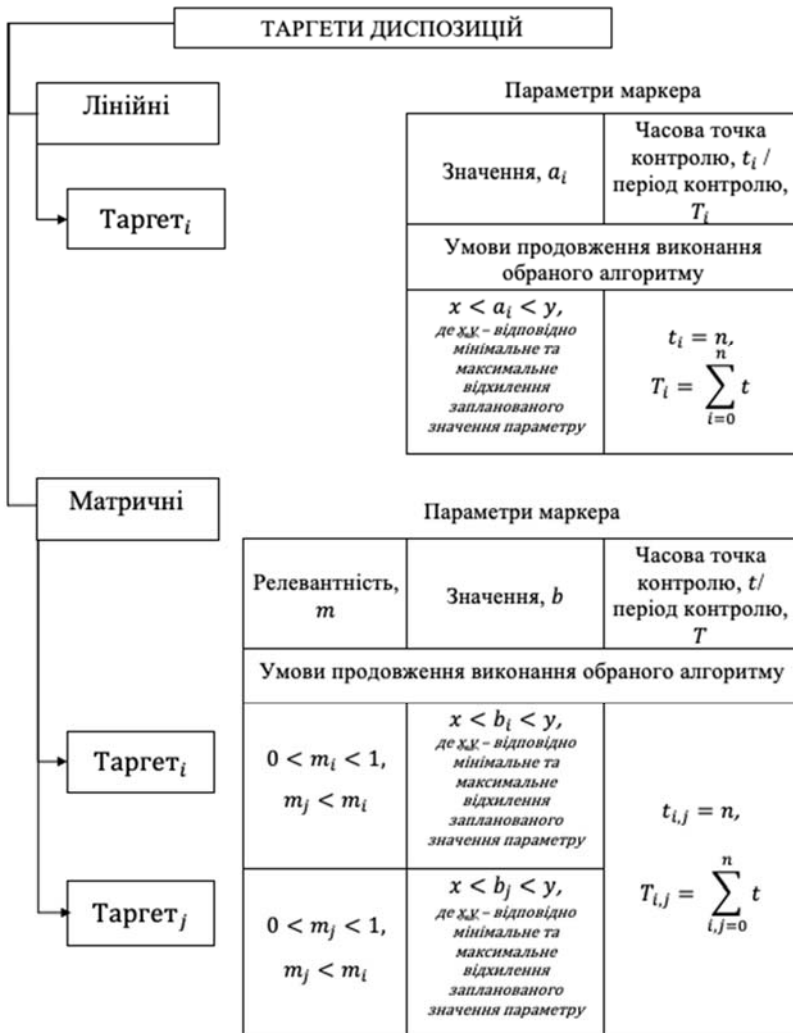


Рис. 2. Модель вибору таргетів та параметрів маркерів фінансової політики підприємства на основі імперативно-диспозитивного підходу (розроблено автором)

Таргетами в диспозитивній системі прийняття рішень можуть виступати окремі фінансові показники, їх комплекс або цілий спектр, наприклад: ліквідності, рентабельності, обсягів вхідного /

вихідного / чистого грошових потоків, обсягів витрат / надходжень коштів за окремими операціями, рентабельність, валовий / чистий прибуток тощо. Залежно від потреб системи, може бути розроблено декілька лінійних та/або матричних таргетів у різних ретроспективах, що дозволяє не лише контроль і, наступний за ним вибір чинного алгоритму прийняття рішень, але і ретроспективний аналіз при формуванні фінансової політики підприємства в майбутньому.

Алгоритмування на основі маркерів таргетів надає можливість реалізації механізму вбудованого контролю та оперативного реагування на зміну поточних умов життєдіяльності компанії не з позиції перебудови алгоритмів, а в розрізі зміни параметрів маркерів таргетів. При цьому, таргети мають бути чітко корелювати з відповідними системами політики і суб'єктами відповідальності.

Таргети диспозицій, їх маркери та параметри формуються в процесі розробки алгоритмів рішень на другому етапі імплементації фінансової політики підприємства і не підлягають перегляду до завершення алгоритму. Дана методика дозволяє вбудований контроль і поступовий перехід системою до кожної наступної дії, а вразі недосягнення нею визначених параметрів маркеру (маркерів) таргетів або порушення меж допустимих граничних відхилень, передбачає перехід до наступного алгоритму рішень. І так до виконання системою наступних умов (рис. 1): завершення алгоритму (успішне задоволення значенням таргетів, та параметрам маркерів); альтернативі диспозицій або визначення імперативів.

По суті, імперативно-диспозитивний підхід забезпечує деяку «неперервність» алгоритмічного процесу, проте не з позиції зацікнення кожного конкретного алгоритму, що нівелювало б його агерентну сутність, а з позиції забезпечення поступу у ефективізації управлінського процесу. Основою запропоновано підходу є забезпечення управлінської автоматизації.

Висновки. На основі комбінування імперативів і диспозицій забезпечується автоматизований вбудований контроль системи, з інформаційними потоками двосторонньої направленості і, одночасно, такий контроль здійснюється без припинення або призупинення процесу прийняття рішень, елімінуючи тим самим можливість появи часових та функціональних лагів у системі.

Основою такого підходу є формалізація процесу фінансового управління, де імперативи політики стають вхідними даними для алгоритмів рішень (диспозицій політики) і завершення алгоритму означає задоволення детермінантам фінансової політики. Таргети алгоритмів формуються в процесі імперативізації в розрізі контрольних маркерів і фінішних детермінант.

Досягнення системою задовільного значення контрольного маркеру (матриці маркерів) диспозиції означає продовження даного алгоритму рішень, а досягнення фінального таргету — детермінованого результату системи рішень, означає ефективне успішне завершення алгоритму і перехід до наступного поступу модернізації політики. За незадовільного значення контрольного маркеру (матриці маркерів), система переходить до виконання наступного алгоритму. Незадовільне значення контрольного маркеру останньої розробленої диспозиції (n), означає необхідність повторної розробки алгоритмів рішень, а незадовільне значення кінцевого маркеру останньої можливої диспозиції означає потребу в альтернативі імперативів фінансової політики. При цьому, за імперативного підходу, необхідність у розробці нової системи рішень, або альтернативі імперативів виникає кожного разу за незадовільного значення розроблених детермінант. Використання ж імперативно-диспозитивного підходу передбачає розробку кількох сценаріїв дій, що дозволяє системі керуванню попередньо рамковану альтернативу поведінки в процесі її перетворення.

При цьому, системно-комплексна ефективність даного підходу підтверджується можливістю розробки, незалежно від обраного поточного виду політики, ургентної політики в якості однієї з її диспозицій для надання системі додаткового захисту в разі нагальності реакції на швидкі несприятливі зміни екзогенного середовища та умов життєдіяльності господарюючого суб'єкта. В такому випадку, в разі не досягнення системою задовільного значення контрольного маркеру (матриці маркерів) та його (їх) допустимих граничних відхилень, забезпечується автоматичний перехід системи в «аварійний режим», що дозволяє мінімізувати можливі втрати допоки фінансовий менеджмент розроблятиме нові імперативи і диспозиції відповідно модерних умов життєдіяльності.

Головною засадою оптимальності, а також, основним напрямом подальших досліджень в алгоритмізації управлінського процесу є чітке визначення і структуризація зон відповідальності, повноважень і систем, що піддаються управлінському впливу в рамках імплементації фінансової політики підприємства. Таким чином забезпечується не тільки автоматизація контролю за параметрами маркерів таргетів політики, а і за ресурсами і відповідальними виконавцями. Основою реалізації фінансового менеджменту в розрізі політичної сутності цього процесу є чітка детермінація зон відповідальності і повноважень відповідальних осіб.

Бібліографічні посилання

1. Ерешко, Ю. О., Товмасян В.Р. Теорія фінансової політики підприємства. *Інвестиції: практика та досвід*, 2020. № 15-16 (63), 63-68. doi:10.32702/2306-6814.2020.15-16.63
2. Ерешко, Ю. О., Товмасян В.Р. Організаційно-економічні засади модернізації фінансової політики підприємства. *Науковий журнал «Інтелект XXI»*. Вип. 5, 2020
3. Stone, H. S. (1973). An efficient parallel algorithm for the solution of a tridiagonal linear system of equations. *Journal of the ACM (JACM)*, 20(1), 27-38.
4. Simanowski, Roberto (2018). *The Death Algorithm and Other Digital Dilemmas. Untimely Meditations*. 14. Translated by Chase, Jefferson. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. p. 147. ISBN 9780262536370
5. Dietrich, Eric (1999). «Algorithm». In Wilson, Robert Andrew; Keil, Frank C. (eds.). *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*. MIT Cognet library. Cambridge, Massachusetts: MIT Press (published 2001). p. 11. ISBN 9780262731447. Retrieved July 22, 2020. An algorithm is a recipe, method, or technique for doing something.
6. Knuth, D. E. (1973). *Fundamental algorithms*.
7. Кант, И. (1999). *Основы метафизики нравственности* (Vol. 4, No. ч 1). Соч.

Статтю подано до редакції 01.11.2020

УДК 004.942

DOI 10.33111/mise.100.5

Загоровська Л. Г., доцент, к.т.н.,
Стрелець Є. В., аспірант,
М'якшило О. М., доцент, к.т.н.,
Харкянен О. В., доцент, к.т.н.,
Національний університет харчових технологій

Zahorovska L. G., Associate Professor, Ph.D in Technical Sciences,
Strelets Y. V., Postgraduate,
Myakshylo O. M., Associate Professor, Ph.D in Technical Sciences,
Kharkianen O. V., Associate Professor, Ph.D in Technical Sciences,
National University of Food Technologies.

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РЕАЛІЗАЦІЇ
ТЕОРЕТИКО-ІГРОВОГО ПІДХОДУ В ЗАДАЧАХ
ЦІНОУТВОРЕННЯ ХАРЧОВОГО ПІДПРИЄМСТВА**

**INFORMATION TECHNOLOGY FOR IMPLEMENTATION
OF GAME-THEORETICAL APPROACH IN PRICING
ISSUES OF FOOD ENTERPRISES**

Анотація: Запропоновано метод розв'язання задачі визначення оптимальної ціни на продукцію харчового підприємства, заснований на використанні теоретико-ігрового підходу. Показано, що розроблені моделі та відповідні критерії вибору дадуть можливість врахувати кожен фактор, що впливає на обсяг продажів, та розрахувати кілька варіантів ціни із можливістю вибору оптимального з них.

Встановлено, що використання теоретико-ігрового підходу з залученням зазначених технологій є ефективним методом розв'язання задачі визначення оптимальної ціни на продукцію харчового підприємства.

Для отримання адекватних експертних оцінок ринкової ситуації запропоновано використовувати поєднання сучасних інформаційних технологій сховищ даних, багатовимірного аналізу та технологію Data Mining. Такий підхід забезпечує доступ до будь-яких точок сховища даних і дозволяє вибирати й представляти інформацію у деталізованому або агрегованому вигляді. Особливо слід зазначити, що завдяки використанню OLAP-кубів та створених на їх основі прозорих багатовимірних моделей даних, аналітики можуть оперативно аналізувати розділену багатовимірну інформацію за різними зрізами в реальному масштабі часу. За результатами аналізу продажів за попередні періоди — рік, місяць, квартал — та, враховуючи вплив актуальних ринкових чинників, можна розрахувати показники попиту на кожен вид продукції при встановленій ціні на заданий період.

Загалом, запропонована інформаційна технологія, що поєднує використання теоретико-ігрових моделей та інтелектуального аналізу даних, значно підвищує якість процедур прийняття рішень щодо встановлення оптимальних цін на асортиментний ряд продукції харчового підприємства. Обґрунтування цього твердження базується на результатах попередніх випробувань розробленого програмного модуля, що реалізує запропонований підхід, на типовому м'ясопереробному підприємстві.

Ключові слова: задача ціноутворення, теоретико-ігрові моделі, критерії вибору, інтелектуальний аналіз даних, інформаційна технологія.

Annotation: A method for solving the problem of determining the optimal price for food products, based on the use of game-theoretic approach. Shown, the developed models, and the corresponding selection criteria will make it possible to take into account each factor, affecting sales, and calculate several price options with the ability to choose the best one.

Established that the use of a game-theoretic approach with the involvement of these technologies are an effective method for solving the problem of determining the optimal price for the products of a food enterprise.

To obtain adequate expert assessments of the market situation, it is proposed to use a combination of modern information technologies of data warehouses, OLAP and Data Mining. This approach provides access to any points of the data warehouse and allows you to select, and present information in a detailed or aggregated form. Of particular note is that by using OLAP-cubes and transparent multidimensional data models created on their basis, analysts can quickly analyze divided multidimensional information on different slices in real time. Based on the results of the analysis of sales for previous periods — year, month, quarter — and, taking into account the influence of current market factors, it is possible to calculate the indicators of demand for each type of product at a set price for a given period. Generally, proposed information technology, combining the use of game-theoretic models and data mining, significantly improves the quality of decision-making procedures for establishing optimal prices for the range of products of a food company. The justification for this statement is based on the results of previous tests of the developed software module, implementing the proposed approach, in a typical meat processing plant.

Keywords: pricing task, game-theoretic models, criterias of choice, data mining, information technology.

Вступ. Будь-яке сучасне підприємство неможливо уявити без автоматизації і комп'ютеризації всіх його підрозділів. Харчова і переробна промисловість, до складу якої входять десятки тисяч підприємств різноманітного профілю, є однією з провідних в Україні і тому потребує інтенсивного впровадження новітніх інформаційних систем і технологій.

В ринкових умовах господарювання для багатьох підприємств процес ціноутворення стає тим регулятором, від якого цілком залежить майбутнє підприємства, адже головним джерелом прибутків є реалізація продукції. Тому для будь-якого сучасного підприємства поряд із такими важливими задачами сьогодення, як покращення якості продукції, удосконалення технологій виробництва, виплати конкурентоспроможної заробітної плати працюючим, задача ціноутворення є однією з найважливіших серед них.

Встановлення оптимальної ціни є одним з основних маркетингових заходів, котрий приносить стабільний прибуток і збільшує показники рентабельності підприємства. Вірно розрахована ціна реалізації продукції відіграє ключову роль у формуванні прибутків, що значно впливає на перспективи підприємства утримувати стійкі позиції на ринку.

Очевидно, що процес ціноутворення серйозно впливає на всі техніко-економічні показники діяльності підприємства. Чим коректнішим буде розрахунок актуальної ціни продукції сьогодні, тим кращими будуть фінансові показники підприємства в майбутньому. При надто високій ціні буде знижено ринковий попит на продукцію, а при надто низькій ціні отримання значного прибутку може відійти у небуття.

Процес ціноутворення є досить складним за своєю суттю, адже розрахована ціна повинна враховувати собівартість і всі витрати, що виникають при виготовленні, зберіганні та транспортуванні продукції. Основу цих витрат складають: вартість сировини, матеріалів, пакування, відбракованої продукції, оплату трудовитрат, енерговитрат, витрат на утилізацію та переробку непридатної до споживання вторинної сировини, орендну плату та витрати на оподаткування прибутків, виплату кредитів тощо. Поряд з цим доводиться рахуватись з багатьма зовнішніми чинниками, такими як конкуренція, фінансово-економічна ситуація в країні, стан фінансово-валютного ринку, тощо. Крім цього, до ціни потрібно додати ще й націнку для забезпечення достатнього рівня рентабельності підприємства.

Задача розрахунку оптимальної ціни на даний момент особливо актуальна для харчових підприємств, що виготовляють і щоденно реалізують продукцію з обмеженим терміном споживання.

Нестабільність ринку призводить до появи багатьох чинників, що може кардинально вплинути на попит на продукцію і, як наслідок, на прибутки підприємства в цілому. У подібній ситуації кращим методом ціноутворення буде такий, який за можливості зможе оперативно реагувати на нестабільність ринкової ситуації, коли дуже швидко змінюються ціни на сировину, енергоносії тощо, а також появу багатьох інших внутрішніх та зовнішніх чинників.

Витрати на прийняття ефективних рішень, пов'язаних з багатьма бізнес-процесами, включаючи і ціноутворення, безперервно зростають, а наслідки від невдалих рішень стають все серйознішими. В умовах сьогодення досвід і інтуїція не завжди виявляються здатними забезпечити вибір найкращого рішення. У зв'язку з цим доцільно долучити науково обґрунтовані методи та засоби прийняття рішень, які б забезпечили їх ефективність.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Рішення задачі розрахунку оптимальної ціни, враховуючи її актуальність, є достатньо перспективною для багатьох галузей промисловості та є основним драйвером проведення досліджень із залученням математичних методів моделювання, серед яких на перший план виходить теорія ігор. Останнім часом з'являється чимало напрацьовань з використанням такого підходу.

У дослідженні [1] наведено, що на даний момент теорія ігор є стандартним інструментом економічної науки, що має перед собою широкі перспективи для розв'язання різноманітних економічних задач, у тому числі і задачу ціноутворення. А дослідження [2] розкриває особливості підходів до ціноутворення та управління витратами саме на підприємствах харчової промисловості. Зазначається, що харчові підприємства при ціноутворенні залежать від витрат на сировину та матеріали, які встановлюють поставальники, державного регулювання цін, соціального характеру продукції, високої ринкової конкуренції тощо і потребують дослідження і розширення підходів до ціноутворення продукції.

Оцінку ризиків, що виникають у процесі планування діяльності харчового підприємства, яке виготовляє великий асортимент продукції, здійснено у дослідженні [3]. Підсистема інформаційної підтримки управління ризиками, запропонована авторами, базується лише на прогнозуванні собівартості продукції на основі статистичних даних та експертних оцінок і може бути розширена.

Джерелом [4] пропонуються результати обґрунтування цінових рішень для підприємств вторинної металургії на ринку брухту електронних пристроїв як сировини для переробки, що були отримані

з залученням математичної теорії ігор, наводяться моделі, що дозволяють формалізувати поведінку компаній на ринку і знайти рішення гри в умовах невизначеності. Однак наведені в роботі моделі не враховують особливостей харчового виробництва.

Джерелом [5] процес ціноутворення розглянуто як гру з двома учасниками: інжиніринговою компанією та середовищем замовника послуг. При цьому вказано на особливості формування варіантів ймовірностей реалізації середовищем замовника інжинірингових послуг своїх «чистих» стратегій, охарактеризовано процес визначення залежності очікуваної величини сукупного доходу інжинірингової компанії та рівня ризику від структури інжинірингових платежів за умови застосування будь-якої «змішаної» стратегії. Тим не менш, не дивлячись на переваги наведених методів, залишається відкритим питання вчасного реагування на зміни на ринку.

Джерелом [6] теорія ігор визначається прогресивним інструментом, який дозволяє керівникам компаній приймати оптимальні стратегічні рішення в умовах невизначеності, пов'язаної з поведінкою гравців на конкурентному ринку. Пропонується проводити декомпозицію складних задач для отримання таких, що піддаються ігровому моделюванню. Також розглядаються головні елементи конкурентної розвідки, що визначають умови ринкової гри та процедуру прийняття стратегічних рішень із застосуванням теорії ігор. Не дивлячись на вочевидь вірну постановку проблеми, рекомендації відносно її реалізації наведені в роботі лише концептуально.

Запропонована у дослідженні [7] модель складається з трьох-шарового ланцюга поставок, що містить одного постачальника, одного виробника та одного роздрібного продавця, що задовольняє попит клієнта, чутливого до роздрібної ціни, якості продукції і роздрібного обслуговування. Використовуючи теорію ігор, пропонується визначення оптимальної стратегії фірми на основі п'яти різних сценаріїв поведінки. Запропонований підхід має обмеження при використанні більш складних ігрових структур з більшою кількістю гравців, наприклад, постачальників сировини, що характерно для підприємств харчової промисловості.

Враховуючи широкий спектр можливостей теорії ігор, можемо стверджувати, що її використання для математичного моделювання та подальшої автоматизації рішень задачі ціноутворення для харчових підприємств, які щоденно виготовляють і реалізують продукцію з обмеженим терміном споживання, забезпечить пози-

тивний вплив на обсяги продажів у короткостроковій і довгостроковій перспективі, а також зменшення витрат за рахунок залучення нових методик і додаткових даних із досліджень фінансового ринку, ринку сировини, а також інформації про конкурентів.

Мета та задачі дослідження. Перед нами постає задача удосконалення алгоритму ціноутворення за рахунок використання теоретико-ігрових моделей і залучення нових додаткових даних із дослідження фінансового ринку, ринку сировини та інформації про конкурентів, прогнозування появи факторів, що можуть вплинути на майбутні обсяги продажу та їх оцінювання. Удосконалений таким чином алгоритм дозволить реагувати на будь-які зміни на ринку та відразу давати відповідь на них в ціновому еквіваленті.

Використання теоретико-ігрових моделей прийняття рішень з ціноутворення на продукцію харчового підприємства. В сучасних умовах господарювання при вирішенні багатьох задач часто доводиться аналізувати ситуації, в яких стикаються інтереси двох або більше сторін з різними цілями. Такого роду ситуації є предметом розгляду теорії ігор. У наш час впровадження теорії ігор у розробку сучасних методів оброблення інформації є досить популярним методом при вирішенні багатьох задач прийняття оптимальних рішень. У даному випадку задача вибору оптимальної ціни на продукцію не є винятком.

Для розв'язання зазначеної задачі запропоновано використати теоретико-ігровий підхід, за якого розроблені моделі та відповідні критерії вибору дадуть можливість врахувати кожен фактор, що впливає на обсяг продажів, і розрахувати кілька варіантів ціни із можливістю вибору оптимального з них.

Логічне обґрунтування вибору теорії ігор базується на формалізації таких понять, як «конфлікт» або ж спір між двома сторонами, «прийняття рішення в умовах конфлікту» та «оптимальність прийнятого рішення».

Доцільність використання теоретико-ігрових моделей обумовлено ситуацією, за якої існує можливість опису настання того або того результату з певною ймовірністю. Для побудови розподілу ймовірностей необхідно мати представницьку статистику результатів спостережень або ж знання експертів. Наявність зазначених умов характерна для задач формування варіантів цін на продукцію та ухвалення рішення щодо вибору оптимального з них. Завдяки цьому подібні задачі відносяться до класу задач прийняття рішень, що розв'язуються в умовах невизначеності та ризику.

Невизначеність у задачах ціноутворення полягає у неможливості точного стовідсоткового визначення ринкової ситуації, а відтак

і прогнозування обсягів реалізації продукції, а ризик — у потенційній втраті прибутків за рахунок прийняття рішення, відмінного від оптимального, тобто, вибору невіддалого варіанту ціни.

Значну частину невизначеності, пов'язаної з ситуацією на ринку та рядом внутрішніх чинників, допоможуть усунути знання експертів. А прийняттю оптимального варіанту рішення сприятимуть вдало підібрані критерії вибору, що враховують чимало чинників впливу та вихідну позицію ОПР (особи, яка приймає рішення) на зроблений вибір. В ролі ОПР у нашому випадку виступає начальник планово-фінансового відділу, який при прийнятті рішень опирається на висновки аналітиків та експертів.

Враховуючи вище зазначене, можна стверджувати, що задача ціноутворення вписується в контекст гри з природою, яка передбачає наявність конфліктної ситуації між свідомим гравцем, котрим є ОПР, і несвідомим — природою, тобто ринком, який не протидіє максимальному виграшу ОПР. Фактично, це конфлікт між розміром ціни та обсягом продажів, результат розв'язання якого повинен задовольнити ОПР і забезпечити максимальні прибутки.

Таким чином, дана задача фактично є статистичною грою, в якій невизначеність обумовлена відсутністю інформації про можливий ринковий попит на продукцію підприємства, що в термінах задачі є станом природи, або ж умовами, в яких проходить гра.

Зазначену невизначеність можливо частково ліквідувати за рахунок експертних оцінок ймовірності появи кожного з можливих майбутніх станів оточуючого середовища, тобто чинників, що в кінцевому результаті визначають попит на продукцію. Дані оцінки дають експерти за результатами ретельного вивчення та дослідження зовнішніх і внутрішніх чинників впливу на майбутній попит на певний вид продукції підприємства. За результатами бесіди з експертами виявлені чинники були розподілені за ступенем впливу на три категорії: мало впливові, помірно впливові та значно впливові. Кожен чинник оцінюється експертами та задається коефіцієнтом від 0 до 1 залежно від категорії та ступеню впливу. Виявлені чинники та їх оцінки вводяться в базу даних і в подальшому використовуються у розрахунках для визначення оптимальної ціни на продукцію підприємства.

Якість експертних оцінок підтверджується тим, що враховуються індивідуальні оцінки всіх залучених фахівців-експертів. При цьому вважається, що істинне значення досліджуваної характеристики знаходиться усередині діапазону оцінок, що отримуються від групи експертів, а узагальнена колективна думка являється достовірною.

Поряд з експертними оцінками ринкової ситуації неоціненну роль для прогнозування показників попиту на певні види продукції відіграють аналітики. При цьому вони використовують поєднання сучасних технологій сховищ даних, багатовимірного і інтелектуального аналізу даних, а технологія Data Mining збагачує цю функціональність за рахунок виявлення регулярностей у даних і пошуку на їх основі прихованих закономірностей.

За результатами OLAP-аналізу (On-Line Analytical Processing) інформації, накопиченої у корпоративному сховищі даних, аналітик отримує повноцінну картину заданих економічних показників діяльності підприємства. Така можливість забезпечується здатністю OLAP-кубів представляти дані у деталізованому або в агрегованому вигляді, надаючи при цьому доступ до будь-яких точок сховища даних. Завдяки використанню OLAP-кубів аналітики можуть виконувати інтуїтивно зрозумілий аналіз продажів за попередні періоди, оперативно аналізувати розділену багатовимірну інформацію за різними зрізами в реальному масштабі часу без звернення до програмістів. Загалом, маючи прозору багатовимірну модель даних, аналітик може проаналізувати інформацію за задані періоди — рік, місяць, квартал — і розрахувати показники попиту на кожен вид продукції при встановленій ціні.

Результати роботи аналітиків та експертів відіграють неоціненну роль у підготовці та формуванні об'єктивної інформації, яку в подальшому ОПР використовує для визначення оптимальних цін на задані види продукції підприємства.

Для отримання оптимального варіанту ціни ОПР застосовує критерій вибору, що найкращим чином враховує наявну фінансово-економічну ринкову ситуацію. Обов'язковими умовами застосування критеріїв вибору є наявність альтернативних варіантів вирішення проблеми, ставлення до неї та можливості визначення кількісної оцінки даних варіантів, або ж платежів [4]. Якщо платежі подати у формі таблиці, ми одержуємо платіжну матрицю. У загальному вигляді матриця відображає залежність платежу від визначених подій (ймовірностей настання певного попиту), що фактично відбуваються. ОПР повинна мати у своєму розпорядженні засоби об'єктивної оцінки ймовірностей релевантних подій і розрахунку очікуваного значення таких ймовірностей. Значення ймовірності варіюється від 1, коли подія точно відбудеться, до 0, коли подія точно не відбудеться. Вибір значення ймовірності може спиратися на минулі тенденції або суб'єктивну оцінку ОПР, що виходить із власного досвіду у подібних ситуаціях. Ймовірність прямо

впливає на визначення очікуваного значення — головної концепції платіжної матриці.

Отже, використання платіжної матриці дозволить задати кілька можливих варіантів ціни на певний вид продукції та допоможе вибрати оптимальний з них, враховуючи різний попит. Крім цього вона також визначає оцінку кожного альтернативного варіанту як функції різних можливих результатів реалізації цього вибору.

Для моделювання процесу ціноутворення як гри з природою розроблено платіжну матрицю, або ж матрицю рішень, та використано її у критеріях вибору. Загальний вигляд платіжної матриці наведено у табл. 1.

Таблиця 1

ПЛАТІЖНА МАТРИЦЯ

Ціна (E_i) \ Попит (v_i), ймовірність попиту (p_i)	V_1	V_2	...	V_i	...	V_m
	p_1	p_2	...	p_i	...	p_n
E_1	e_{11}	e_{21}	...	e_{i1}	...	e_{n1}
E_2	e_{12}	e_{22}	...	e_{i2}	...	e_{n2}
...
E_i	e_{1j}	e_{2j}	...	e_{ij}	...	e_{nj}
...
E_n	e_{1n}	e_{2n}	...	e_{in}	...	e_{nn}

де E_i — варіанти ціни за одиницю певного виду продукції у гривнях,

V_j — обсяг попиту на дану продукцію,

p_j — ймовірність очікування такого попиту,

e_{ij} — прибуток від реалізації V_i одиниць продукції за ціною E_i .

На відміну від ОПР, яка свідомо обирає та використовує певну стратегію, що забезпечує максимальний вигреш, гравець-ринок діє випадково. Його стратегія визначається лише своїми потребами й фінансовими можливостями та є байдужою щодо фінансового стану гравця-супротивника, чим нівелюється конфліктна ситуація. Наслідком застосування такої стратегії є сформований попит на продукцію підприємства.

Реалізуючи свою стратегію, ОПР, як свідомий гравець, намагається діяти обачно, враховуючи умови прийняття рішень, та свідомо використовувати відповідні до наявної ситуації критерії вибору.

У випадку, коли потрібно забезпечити себе від збитків, задовольняючись мінімальними прибутками, доцільно використовувати стратегію мінімаксу, що забезпечує критерій Вальда.

Мінімаксний критерій використовує оціночну функцію ZMM, що відповідає позиції крайньої обережності і відображає позицію песимізму ОПР. Він застосовується в ситуаціях, коли розраховують на самий гірший збіг обставин, викликаний фінансово-економічною ситуацією на ринку та відповідними внутрішніми чинниками. Оціночна функція мінімаксного критерію має такий вигляд:

$$Z_{MM} = \max_i \min_j e_{ij}. \quad (1)$$

Множина оптимальних рішень за даним критерієм формується таким чином:

$$E_O = \left\{ E_{O_i} \mid E_{O_i} \in E \wedge e_{O_i} = \max_i \min_j e_{ij} \right\}. \quad (2)$$

По суті даний критерій забезпечує вибір кращого варіанта з гірших. Обрані варіанти рішень, тобто, ціни на продукцію, за даним критерієм повністю виключають ризик. А це означає те, що ОПР не може зіштовхнутись з гіршим варіантом у порівнянні з обраним. Тобто, даний варіант ціни хоча і не принесе підприємству значних прибутків, але гарантовано забезпечить його від збитків.

Даний критерій не враховує ймовірностей появи зовнішніх станів, тому його доцільно застосовувати за умов, коли неможливо оцінити чинники впливу на ціноутворення внаслідок нестабільної ринкової ситуації, але при цьому все-таки доводиться рахуватись з різними варіантами попиту на продукцію.

Застосування даного критерію не завжди виправдане. Адже в умовах конкуренції кожне підприємство прагне завоювати та утримувати стійкі позиції на ринку. При цьому повністю виключати ризик при прийнятті рішень недоцільно. Очевидно, що й не доцільно допускати ризик азартного гравця, до якого призводить використання максимаксного критерію, а виправданий ризик, що забезпечить належні прибутки, та відповідно розвиток бізнесу, доцільно допустити свідомо.

У разі розрахунку на помірні прибутки за наявності розумного ризику обирається підхід, що базується на виваженій позиції ОПР, та забезпечується використанням критерію Байєса-Лапласа. Даний критерій передбачає визначення максимального прибутку поміж середніх виважених значень, що визначаються з урахуванням ймовірностей можливого попиту за заданими варіантами цін. При цьому при прийнятті оптимального рішення критерій Байєса-Лапласа допускає виправданий ризик. Його доцільно використовувати в умовах невизначеності, коли наслідки прийнятих рішень невідомі та оцінити їх можна лише приблизно. Але водночас з цим він передбачає вищий рівень поінформованості про умови прийняття рішень порівняно з мінімаксімним критерієм.

Оціночна функція критерію Байєса-Лапласа має такий вигляд:

$$Z_{BL} = i \sum_{j=1}^n e_{ij} \cdot p_j, \quad (3)$$

де p_j — ймовірність появи зовнішнього стану V_j . Множина оптимальних рішень за критерієм Байєса-Лапласа формується таким чином:

$$E_O = \left\{ E_{O_i} \mid E_{O_i} \in E \wedge e_{O_i} = i \sum_{j=1}^n e_{ij} \cdot p_j \wedge \sum_{j=1}^n p_j = 1 \right\}. \quad (4)$$

У концепції даного критерію ключовим поняттям є очікуваний ефект — це математичне сподівання отримання максимального прибутку. Це значення фактично є найкращим результатом вибору з усіх можливих наслідків ситуацій, що можуть виникнути в процесі прийняття рішення, та забезпечує визначення оптимальної ціни. При цьому критично важливою є надійна оцінка ймовірностей появи заданих варіантів попиту в процесі вибору кращих цінових альтернатив.

У випадку сумніву щодо об'єктивності отриманих експертних оцінок ринкової ситуації для встановлення оптимальної ціни обирається критерій Ходжа-Лемана. Доцільність його застосування в даній ситуації виправдовується тим, що він є поєднанням виваженого підходу критерію Байєса-Лапласа та песимістичного підходу критерію Вальда. Для надання переваги тому чи іншому підходу даний критерій використовує коефіцієнт довіри до розподілу ймовірностей.

Оціночна функція критерію Ходжа-Лемана має такий вигляд:

$$Z_{HL} = i \left[\alpha \cdot \sum_{j=1}^n e_{ij} \cdot p_j + (1-\alpha) \cdot j(e_{ij}) \right], \quad (5)$$

де α — ступінь довіри до розподілу ймовірностей, його обирає ОПР із суб'єктивних міркувань, враховуючи при цьому поради експертів та аналітиків. Множина оптимальних рішень за критерієм Ходжа-Лемана формується таким чином:

$$E_o = \left\{ \begin{array}{l} E_{oi} | E_{oi} \in E \wedge e_{oi} = \\ = i \left[\alpha \cdot \sum_{j=1}^n e_{ij} \cdot p_j + (1-\alpha) \cdot j(e_{ij}) \right] \wedge 0 \leq \alpha \leq 1 \end{array} \right\}. \quad (6)$$

Для досягнення найкращого результату розв'язання задачі ціноутворення доцільним є комплексне використання всіх зазначених стратегій, що забезпечує проведення детального аналізу та дослідження наявних факторів впливу. Адекватна оцінка цих факторів дозволить об'єктивно обґрунтувати оптимальну ціну на продукцію з урахуванням різних аспектів їх наслідків.

Результати використання теоретико-ігрових моделей та інтелектуального аналізу даних визначення оптимальної ціни на продукцію харчового підприємства. Запропоновано використовувати теоретико-ігровий підхід для розв'язання задачі визначення оптимальної ціни на продукцію харчового підприємства. Актуальність даної задачі саме для харчових підприємств обумовлена специфікою продукції, що виготовляється — вона має обмежений термін споживання та щоденно реалізується, при цьому ціна кожного разу може змінюватись.

Показано, що задача ціноутворення вписується в контекст гри з природою та фактично є статистичною грою, в якій невизначеність обумовлена відсутністю інформації про можливий ринковий попит на продукцію підприємства. Запропоновано зазначену невизначеність частково ліквідувати за рахунок експертних оцінок ймовірності появи впливових чинників попиту на продукцію. За результатами експертних висновків дані чинники були розподілені на три категорії, для кожної з яких визначено відповідний коефіцієнт впливу.

Показано, що розроблені теоретико-ігрові моделі та відповідні критерії вибору дають можливість враховувати кожен фактор, що впливає на обсяг продажів, та розраховувати кілька варіантів ціни з можливістю вибору оптимального з них. Завдяки використанню

запропонованих критеріїв вибору ОПР має можливість враховувати актуальну ринкову ситуацію і фінансово-економічний стан підприємства та приймати рішення, виходячи з позиції оптимізму, песимізму чи нейтралітету.

Висновки. Використання розробленого алгоритму ціноутворення в умовах невизначеності та ризику дозволяє переглянути та проаналізувати всі варіанти ціни та попиту з різних точок зору кожного експерта, спрогнозувати можливі зміни та закласти в ціну непередбачувані витрати.

Залучення до процесу ціноутворення значної кількості експертів зазвичай є досить затратним методом. Проте він окупить себе за рахунок формування стійких позицій підприємства на ринку та зростання попиту на продукцію, що є наслідком встановлення гнучких цін, які можуть забезпечити адекватну реакцію на багато факторів і не бути зависокими для покупця. Водночас вони забезпечать підприємству беззбитковість, страхування від непередбачуваних ситуацій та отримання стабільного прибутку. Тобто, аналітичні висновки та прогнози експертів можуть бути корисними та позитивно впливати на обсяги реалізації продукції.

Поєднання технологій сховищ даних, багатовимірного та інтелектуального аналізу даних є ефективним інструментальним засобом підтримки діяльності аналітика при дослідженні і прогнозуванні показників, які впливають на продажі продукції. Використання теоретико-ігрового підходу з залученням зазначених технологій є ефективним методом розв'язання задачі визначення оптимальної ціни на продукцію підприємства.

Бібліографічні посилання

1. Самуэльсон Л. Теория игр в экономической науке и не только. Вопросы экономики. 2017;(5):89-115. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2017-5-89-115>

2. Слободян, Н. Г. Ціноутворення та управління витратами на підприємствах харчової промисловості [Текст] / Наталія Геннадіївна Слободян, Олена Віталіївна Саухіна // Економічний аналіз: зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет; редкол.: О. В. Ярошук (голов. ред.) та ін. –Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2018. — Том 28. — № 2. — С. 176-181. — ISSN 1993-0259.

3. Myakshylo O. M., Kharkianen O. V. (2014). Dosidzhennya i rozrobka metodiv upravlnnya rizykami v diyalnosti harchovogo pidpriemstva. Naukovi pratsi Natsionalnogo universitetu harchovih tehnologiy, T. 20, № 10-11, pp. 105–114.

4. Кружкова Г. В., Костюхин Ю. Ю. Теория игр и стратегия ценообразования на вторичное сырье. Цветные металлы, 2012, №8
5. Кузьмін О. Є., Жежуха В. Й., Городиська Н. А. Інструментарій теорії ігор у ціноутворенні на інжинірингові продукти. Проблеми економіки № 2, 2014
6. Хью Кортни. Игры для менеджеров The McKinsey Quarterly, 2000, № 3
7. Aust Gerhard Game-theoretic analysis of pricing, product quality, and retail service in a three-echelon supply chain // Journal of Applied Operational Research. 2015. Vol. 7, No. 1, 2–12.
8. Maklakov S. V. Modelirovanie biznes-processov s AllFusion PM. Moscow: Dialog-MIFI, 2008. 224 p.
9. Metody i modeli analiza dannyh: OLAP i Data Mining: ucheb. pos./ Barsegyan A. A., Kupriyanov M. S., Stepanenko V. V., Holod I. Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg, 2004. 336 p.
10. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. М.: Мир, 1990. 208 с.
11. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. Киев: Наукова думка, 2002. 382 с.

Статтю подано до редакції 19.10.2020

УДК: 519.252

DOI 10.33111/mise.100.6

Камінський О. Є., д.е.н.,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
Політ Д. Г.,
магістрант спеціальності «Системний Аналіз»,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Kaminsky O. E., Doctor of Economic Sciences,
Associate Professor of the Department of
Computer Mathematics and Information Security,
Polyit D. G.,
Master Student specialty «System Analysis»,
SHEI KNEU named after V. Hetman

**АНАЛІЗ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ
ЩОДО ПАНДЕМІЇ COVID-19 В УКРАЇНІ
(НА ПРИКЛАДІ СВІТОВИХ АГРЕГАТОРІВ ДАНИХ)**

**ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF INFORMATION
ABOUT THE COVID-19 PANDEMIC IN UKRAINE
(ON THE EXAMPLE OF WORLD DATA AGGREGATORS)**

Анотація. Вплив пандемії COVID-19 на економічну діяльність в основному зумовлений зменшенням витрат для осіб з вищими доходами через проблеми зі здоров'ям, що, в свою чергу, впливає на підприємства, які обслуговують багатих, і в кінцевому рахунку зменшує рівень доходів і витрат низькооплачуваних працівників цих підприємств. Модель прогнозування підтверджених випадків захворювання на COVID-19 усе ще перебуває на стадії досліджень. Розуміючи тенденцію розвитку підтверджених випадків у регіоні, уряди країн намагаються контролювати пандемію, використовуючи відповідну політику. Однак загальноприйняті традиційні математичні методи та моделі прогнозування пандемії мають обмеження і не завжди дають точні оцінки. Слід зауважити, що аналіз достовірності даних щодо смертності від пандемії є досить нетривіальною задачею і складно впевнено визначити саму кількість жертв. Проте вірогідність цих показників може бути компенсовано, якщо проводити аналіз, порівнюючи дані «схожих» країн. Метою статті є представлення результатів аналізу вірогідності інформації щодо епідемії Covid-19 на основі інформації світових онлайн-агрегаторів даних, його зв'язку з географічним положенням країн світу та кількістю їх населення. У даній роботі авторами запропоновано вдосконалений метод такого аналізу та відповідне програмне забезпечення. Результати аналізу показали, що найімовірніша кількість смертей від COVID-19 в Україні має бути на 25 % вище заявлених даних. Цей метод має кращий ефект пристосування для регіонів з великою базою населення, а ефект прогнозування є точнішим. Аналіз загальної смертності під час пандемії й зіставлення цих даних з середньою смертністю в інших країнах може служити точнішою, нехай і децю попередньою, оцінкою реальної кількості жертв пандемії, та її впливу на економіку України.

Ключові слова: аналітика; пандемія; COVID-19; прогнозний аналіз; соціо-безпека

Abstract. The impact of the COVID-19 pandemic on economic activity is mainly due to lower costs for higher-income people due to health problems, which in turn affects businesses that serve the rich and ultimately reduces the income and expenditure of low-paid workers. these enterprises. The model for predicting confirmed cases of COVID-19 is still under investigation. Recognizing the trend in confirmed cases in the region, governments are trying to control the pandemic using appropriate policies. However, generally accepted traditional mathematical methods and models for predicting pandemics are limited and do not always give accurate estimates. It should be noted that the analysis of the reliability of pandemic mortality data is a rather non-trivial task and it is difficult to determine the number of victims with confidence. However, the probability of these indicators can be offset by analyzing by comparing data from «similar» countries. The aim of the article is to present the results of the analysis of the reliability of information on the David-19 epidemic based on information from global online data aggregators, its relationship with the geographical location of countries and their population. In this paper, the authors propose an improved method of such analysis and appropriate software. The results of the analysis showed that the most probable number of deaths from COVID-19 in Ukraine should be 25% higher than the stated data. This method has a better adaptation effect for regions with a large population base, and the forecasting effect is more accurate. Analysis of overall mortality during a pandemic and comparison of these data with average mortality in other countries can serve as a more accurate, albeit somewhat preliminary, estimate of the actual number of pandemic victims and its impact on Ukraine's economy.

Keywords: analytics; pandemic; COVID-19; forecast analysis; socio-security

Вступ. Для розробки ефективних заходів, що дозволять максимально зменшити вплив пандемії COVID-19 на безпеку громадян України, необхідно проводити глибокий аналіз і моделювання впливу карантинних заходів. Кожного дня кількість заражених COVID-19 збільшується. Станом на 17 листопада 2020 року в Україні було підтверджено 557 657 випадків захворювання на COVID-19, у тому числі 9 856 смертей і 250 983 повністю відновлених [1]. Через пандемію COVID-19 Україна може зіткнутися з найгіршою ре-цесією за останні десятиліття, в результаті чого понад 9 мільйонів людей опиняться у злиднях. UN OCHA в Україні повідомляє, що з початку пандемії понад 80 % домогосподарств втратили дохід, а у більш 40 % сімей що найменше один член сім'ї втратив роботу [2]. Хоча немає даних про Східну Україну, соціально-економічні наслідки пандемії в регіоні, що постраждав від конфлікту, будуть мати руйнівний характер. Саме тому аналіз та прогнозування смертності внаслідок пандемії COVID-19 є актуальною та важливою передумовою для формулювання стратегій профілактики і боротьби з інфекційними захворюваннями, а також прийняття рішень щодо подолання їх наслідків у сфері економіки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вплив пандемії COVID-19 на економічну діяльність в основному зумовлений зменшенням витрат для осіб з вищими доходами через проблеми зі здоров'ям, що, своєю чергою, впливає на підприємства, які обслуговують багатих, і зрештою зменшують рівень доходів і витрат низькооплачуваних працівників цих підприємств. Моделі прогнозування підтверджених випадків захворювання на COVID-19 усе ще перебувають на стадії досліджень. Розуміючи тенденцію розвитку підтверджених випадків в регіоні, уряди країн намагаються контролювати пандемію, використовуючи відповідну політику. Однак загальноприйняті традиційні математичні методи та моделі прогнозування пандемій мають обмеження і не завжди дають точні оцінки.

Наприклад, у дослідженні [1] було використано статистичний метод для оцінки CFR на ранній фазі спалаху пандемії COVID-19. Дані щодо підтверджених лабораторією випадків COVID-19 та смертей автори збирали з 10 січня по 3 лютого 2020 року та розділили їх на три групи: місто Вухань, інші міста провінції Хубей та інші провінції материкового Китаю. Проста модель лінійної регресії була застосована для оцінки CFR з кожного кластера.

У своїй роботі вчені Mizumoto K, Chowell G. [2] оцінювали ризик смертності від COVID-19 у місті Ухані, а також інших частинах Ки-

таю, крім провінції Уханя, з урахуванням затримки часу, щоб визначити ступінь тяжкості епідемії в країні. Оцінки ризику смерті в Ухані досягли значень до 12% в епіцентрі епідемії та $\approx 1\%$ в інших, більш постраждалих районах. Підвищені оцінки ризику смерті, визначено, як пов'язані з руйнуванням системи охорони здоров'я, та підкреслено дієву роль посиленних заходів з охорони здоров'я, включаючи соціальне дистанціювання та обмеження руху.

У роботі Hoang P. [3] було обговорено чітку модельну функцію, яка дозволяє оцінити загальну кількість смертей серед населення, і зокрема, оцінити сукупну кількість смертей у Сполучених Штатах через поточний вірус Covid-19. Автором було проведено порівняльний аналіз результатів моделювання з двома існуючими моделями на основі нових критеріїв. Результати дослідження показали, що запропонована модель є точнішою, ніж існуючі моделі, які були засновані на американських даних про смертність від Covid-19.

У роботі Yan B., Wang J. [4] для розв'язання проблеми прогнозування смертності від пандемій запропоновано вдосконалений метод прогнозування підтверджених випадків смерті на основі нейронної мережі LSTM (Long-Short Term Memory). У роботі порівнюються відхилення між експериментальними результатами вдосконаленої моделі прогнозування LSTM і моделями прогнозування (такими як логістичні рівняння та рівняння Хілла) з реальними даними в якості еталонних. Експерименти показали, що запропонований підхід має менші відхилення від прогнозу та кращий ефект пристосування.

Постановка проблеми. Мета статті полягає в тому, щоб представити результати аналізу вірогідності інформації щодо епідемії коронавірусу (COVID-19) на основі інформації світових онлайн-агрегаторів даних, його зв'язку з географічним положенням країн світу та кількістю їх населення. У даній роботі автори пропонують вдосконалений метод такого аналізу.

Виклад основного матеріалу. За дослідженнями відомого вченого С. Кузнеця [2], рішення щодо макроекономічної політики приймаються на основі загальнодоступних статистичних даних, побудованих на основі офіційних звітів, які надають уряди. Така статистика має велике значення для розуміння загальної економічної діяльності держави, але вона має два обмеження.

По-перше, офіційні дані, як правило, можуть не бути точними, через політичні мотиви, відносно невеликі обсяги вибірки, та неповне врахування критеріїв аналізу. По-друге, така статистика, як правило, доступна лише зі значним часовим запізненням. Через

дані обмеження чинних загальнодоступних макроекономічних статистичних даних недостатньо для вивчення джерел економічних коливань і причинних наслідків глобальних подій.

Аналіз медичних даних показує, що певна кількість смертей від вірусу Covid-19 не реєструється державою, через очевидне бажання не збільшувати панічні настрої серед населення та через можливі фальсифікації збоку лікарів для отримання дозволу на поховання померлих. Слід зауважити, що аналіз достовірності даних щодо смертності від пандемії є досить нетривіальною задачею і складно впевнено визначити саму кількість жертв. Проте вірогідність цих показників може бути компенсовано, якщо проводити аналіз, порівнюючи дані «схожих» країн.

Ми можемо визначити країни схожими, якщо вони: по перше, географічно знаходяться поряд (тобто мають спільний кордон). Така умова дасть змогу ще до проведення аналізу вилучити ряд чинників, таких як: історія хвороби (яка має бути подібною у двох сусідніх країнах), клімат, туристичні шляхи, менталітет (наприклад, відношення населення до пандемії). Дана вимога реалізується нами на рівні скрипту, де залежно від обраної країни беруться дані тих країн, що знаходяться поруч.

Для отримання кількості населення кожної з країн, кількості заражених і померлих, а також медичні показники, були обрані такі інформаційні онлайн-ресурси, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1

ОНЛАЙН — АГРЕГАТОРИ ДАНИХ ЩОДО ПАНДЕМІЇ COVID-19

Агрегатор даних	Адреса
World Health Organization (WHO)	https://www.who.int/
European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC)	https://www.ecdc.europa.eu/en/geographical-distribution-2019-ncov-cases
DXY.cn. Pneumonia. 2020.	http://3g.dxy.cn/newh5/view/pneumonia
US CDC	https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html
BNO News	https://bnonews.com/index.php/2020/02/the-latest-coronavirus-cases/
WorldoMeters	https://www.worldometers.info/coronavirus/
1Point3Arces	https://coronavirus.1point3acres.com/en
COVID Tracking Project: (US testing and Hospitalization Data.)	https://covidtracking.com/data .
Los Angeles Times	https://www.latimes.com/projects/california-coronavirus-cases-tracking-outbreak/
The Mercury News	https://www.mercurynews.com/tag/coronavirus/

По друге, не мають між собою великої різниці у кількості населення. Дана умова є другорядною, оскільки найголовніші коефіцієнти, які неможливо підрахувати вручну, ми скорочуємо згідно з першою умовою, але дана умова враховує, що хвороба може розповсюджуватися швидше через більшу кількість населення. Після отримання списку «схожих» країн, розраховується коефіцієнт за формулою (1), щоб врахувати той факт, що сусідня країна може мати значно кращу медичну систему.

$$K = \frac{C_1}{C_2 * M}, \quad (1)$$

де C_1 – кількість підтверджених смертей;

C_2 – кількість підтверджених заражень;

M — показники стану медичної системи країни.

Відповідно, ми можемо визначити такий алгоритм аналізу:

- 1) програмно визначаються країни-сусіди;
- 2) виконується парсинг csv-файлу з даними по населенню кожної з країн-сусідів, дані додаються до загального датасету;
- 3) з датасету виключаються країни, де кількість населення вище у 3,5 разу;
- 4) виконується парсинг csv-файлів з кількістю заражень та смертей з медичними показниками усіх країн і додається до загального датасету;
- 5) вираховується коефіцієнт відношення смертей до підтверджених заражень.

Медичні показники беруться з csv файлу.

Розрахунок здійснюється програмним модулем (прог. 1)

Прог. 1. Розрахунок медичних показників

```
medical_rating = pd.read_csv(«data/medical_system.csv»)
medical_rating = medical_rating.copy().drop(['Health
Distribution','Overall goal attainment', 'Health expenditure
per capita in international dollars'],axis =1)
medical_rating.index = medical_rating[«Country»]
medical_rating = medical_rating.drop(['Country'], axis=1)
close_countries_data = pd.merge(close_countries_data,
medical_rating, left_index=True, right_index=True)
```

Отримання даних про кількість населення здійснюється аналогічним чином, парсяться й форматуються дані з іншого csv файлу, як представлено в прог.2.

Прог. 2. Отримання даних про кількість населення

```
population = pd.read_csv(«data/population_by_country.csv»)
population.copy().drop(['Yearly Change', 'Net Change',
'Density (P/Km2)', 'Land Area (Km2)', 'Migrants (net)',
'Fert. Rate', 'Med. Age', 'Urban Pop %', 'World
Share'],axis=1)
close_countries_data = pd.merge(close_countries_data,
population, left_index=True, right_index=True)
```

Після розрахунку кожного з коефіцієнтів обираються максимальне, мінімальне та середнє значення з країн з достатньо високим рівнем медицини, оскільки, чим вище рівень медицини, тим вище вірогідність даних. За допомогою 3-ох коефіцієнтів ми отримаємо значення прогнозованої мінімальної кількості померлих, прогнозованої (найімовірнішої) кількості померлих і прогнозованої максимальної кількості померлих. Для знаходження коефіцієнта, слід знайти відношення кількості зареєстрованих смертей до заражень і загального перфомансу медичної системи країни, як це відображено в прог.3.

Прог.3. Отримання даних про кількість населення

```
close_countries_data[«coef»] =
close_countries_data[«Deaths»] / (
close_countries_data[«Confirmed»] *
close_countries_data[«Overall health system performance»])

top_2_countries_by_health_level =
close_countries_data.sort_values(«Health Level»).head(2)

average_coef_by_most_healthy_counties =
sum(top_2_countries_by_health_level[«coef»]) /
len(top_2_countries_by_health_level[«coef»])

max_coef = max(close_countries_data[«coef»])
min_coef = min(close_countries_data[«coef»])

input_country_data[«Most likely deaths»] =
average_coef_by_most_healthy_counties *
input_country_data[«Confirmed»] *
input_country_data[«Overall health system performance»]
input_country_data[«Min deaths (best-case scenario)»] =
min_coef * input_country_data[«Confirmed»] *
input_country_data[«Overall health system performance»]
input_country_data[«Max deaths (Worst-case scenario)»] =
max_coef * input_country_data[«Confirmed»] *
input_country_data[«Overall health system performance»]
```

Програмне забезпечення для аналізу було реалізовано на базі Jupiter Notebook та мови програмування Python [2].

Прог. 1. Приклад подання коду комп'ютерної програми
Аналіз українських показників проводився на основі даних Польщі та Угорщини, які представлено на рис.1.

	Confirmed	Deaths	Delta_Deaths	Health Level	On level of health	Overall health system performance	Population	coef
Poland	665547	9499	419.0	45	89	50	37854825	0.000285
Hungary	131887	2883	99.0	62	105	66	9665192	0.000331

Рис. 1. Результати аналізу аналізу даних щодо смертності для країн-сусідів України

Дані щодо кількості зараження у країн-сусідів України наведе-но на рис. 2.

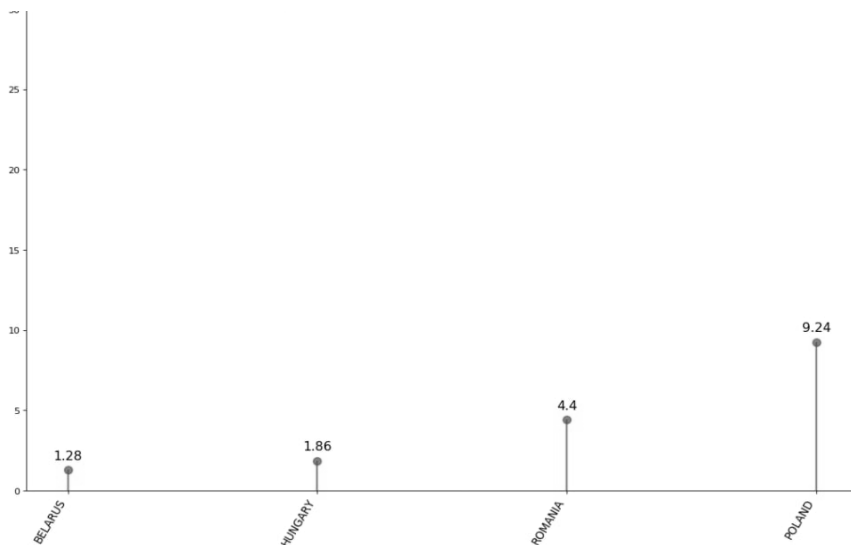


Рис. 2. Кількість заражень у країн — сусідів (x 100 000)

На основі отриманих даних було проведено аналіз ситуації в Україні, який дав такі результати, представлені на рис. 3.

	Confirmed	Deaths	Delta_Deaths	Health Level	On level of health	Overall health system performance	Most likely deaths	Min deaths (best-case scenario)	Max deaths (Worst-case scenario)	Falsification %	best-case scenario falsification %	worst-case scenario falsification %
Ukraine	527808	9604	182	70	101	79	12856	5359	13810	25	0	30

Рис. 3. Результати аналізу даних щодо смертності для України

Дані щодо кількості смертей у країн-сусідів України наведено на рис.4.

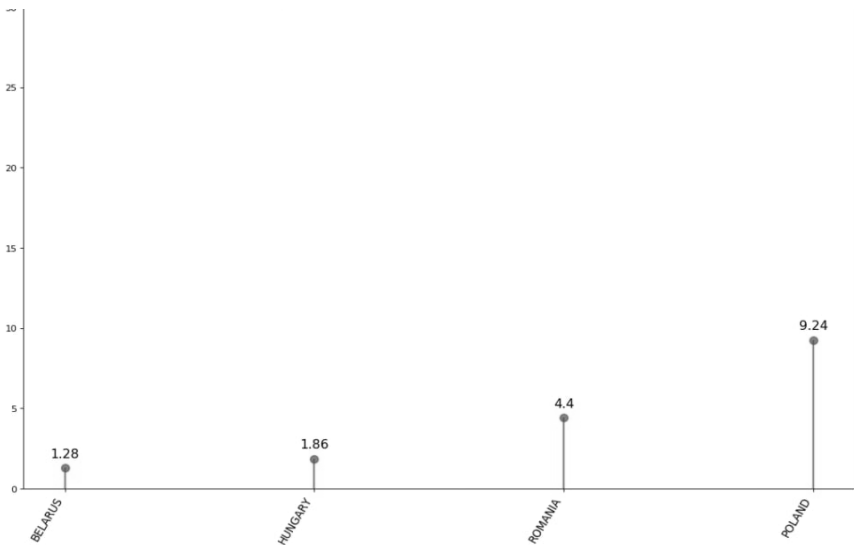


Рис.4. Кількість смертей у країн — сусідів (x 100 000)

Висновки. Результати аналізу свідчать, що найімовірніша кількість смертей від COVID-19 в Україні має бути на 25 % вище заявлених даних. Даний метод має вищу достовірність для регіонів з великою базою населення, а ефект від прогнозу відповідно, також стає вірогіднішим.

У даній роботі авторами пропонується розв’язувати такі проблеми, шляхом (1) створення публічної бази даних, яка вимірює показники смертності та зараження, стан медичної системи та інші показники на високочастотному, детальному рівні, використовуючи анонімі дані приватних компаній та світових онлайн-ресурсів,

та (2) таку нову базу даних можна використовувати для порівняльного аналізу наслідків пандемії коронавірусу (COVID-19) з іншими країнами, та використання даних аналізу для розробки рекомендацій щодо подальшої політики боротьби з наслідками пандемії майже в режимі реального часу, побудова такої бази даних є метою наших подальших досліджень.

Аналіз загальної смертності під час пандемії й зіставлення цих даних з показниками смертності в інших країнах може служити точнішою, нехай і дещо попередньою, оцінкою реальної кількості жертв пандемії, та її впливу на економіку України.

Бібліографічні посилання

1. Оперативна інформація про поширення коронавірусної інфекції 2019-nCoV. (19.11.2020) URL: <https://moz.gov.ua/article/news/operativna-informacija-pro-poshirennja-koronavirusnoi-infekcii-2019-ncov>.

2. Огляд гуманітарної ситуації — жовтень 2020 р. (19.11.2020) URL: https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/ukraine_humanitarian_snapshot_20201110-ua.pdf

3. Kuznets, Simon. National Income and Its Composition, New York: National Bureau of Economic Research. 1941. <https://www.nber.org/books-and-chapters/national-income-and-its-composition-1919-1938-volume-i>

4. Yang, S., Cao, P., Du, P., Wu, Z., Zhuang, Z., Yang, L., Yu, X., Zhou, Q., Feng, X., Wang, X., Li, W., Liu, E., Chen, J., Chen, Y., & He, D. (2020). Early estimation of the case fatality rate of COVID-19 in mainland China: a data-driven analysis. *Annals of translational medicine*, 8(4), 128. <https://doi.org/10.21037/atm.2020.02.66>

5. Mizumoto K, Chowell G. Estimating Risk for Death from Coronavirus Disease, China, January-February 2020. *Emerg Infect Dis*. 2020 Jun;26(6): P.1251-1256. <https://10.3201/eid2606.200233>.

6. Hoang Pham. On Estimating the Number of Deaths Related to Covid-19. Rutgers University, Piscataway, *Mathematics* 2020, 8(5), 655; <https://doi.org/10.3390/math8050655>

7. B. Yan, J. Wang, Z. Zhang, X. Tang, Y. Zhou et al., «An improved method for the fitting and prediction of the number of covid-19 confirmed cases based on lstm,» *Computers, Materials & Continua*, vol. 64, no.3, pp. 1473–1490, 2020.

8. Jupyter Notebook. (19.11.2020) URL: <https://realpython.com/jupyter-notebook-introduction/>

Статтю подано до редакції 30.10.2020

Кисіль Т. М.,

асистент кафедри інформатики та системології,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Kysil T. M.,

Assistant Professor of Informatics and Systemology,
SHEI KNEU named after V. Hetman

АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ БАНКІВСЬКОЇ СИСТЕМИ

OPERATION ALGORITHM OF INTELLECTUAL BANK SYSTEM

Анотація. У даній статті розглянуто алгоритм функціонування інтелектуальної системи прогнозування оцінки ймовірності банкрутства банківських установ на основі динамічної нормативно-індексної моделі. Запропонований автором адаптований алгоритм функціонування чотиришарового когнітрона Фукушіми в інтелектуальній банківській системі дає можливість підвищити точність нелінійного прогнозування фінансової оцінки ймовірності банкрутства банківських установ різних груп і різних форм власності на майбутній звітний період із врахуванням досвіду роботи інших банківських установ на основі їх фінансової діяльності за минулі звітні періоди, що дозволить оптимально визначити фінансовий стан банкрутства, забезпечити ефективне прийняття рішень на майбутні звітні періоди.

Новими науковими результатами публікації є реалізований в інтелектуальній системі алгоритм зворотного поширення помилки прихованих прошарків і формування, в них, п'яти конкурентних областей, в яких генеруються вихідні функції активації та встановлюють фактичну реакцією на вибірку вхідних показників. Реалізований автором алгоритм самонавчання інтелектуальної системи значно підвищує результати прогнозування оцінки ймовірності банкрутства проводиться підбір абсолютних та відносних показників з метою визначення нормативних співвідношень між темпами зростання, розрахунку інтегрального показника ймовірності банкрутства та рівня банкрутства за трьома групами ризику за рахунок впроваджених середньоквадратичних функції активації в областях конкуренції прихованих прошарків і максимальній функції втрат результативного вихідного прошарку.

Проведене наукове дослідження та отримані результати підтверджують ефективність алгоритму функціонування інтелектуальної банківської системи за впровадженими автором етапами: зберігання, обробки та видачі інформації, а також прогнозування станів банкрутства залежно від стану вхідних і вихідних показників, проміжних і загальних результатів, як на ранніх, так і кінцевих стадіях виявлення банкрутства.

Ключові слова: оцінка ймовірності банкрутства; прогнозування показників; нормативно-індексна модель; інтелектуальна банківська система; штучний нейрон; навчання когнітрону Фукушіми; навчальна вибірка; алгоритм прямого поширення помилки; алгоритм зворотного поширення помилки; область конкуренції; функція активації; функція втрат; середньоквадратична функція втрат; максимальна функція втрат.

Abstract. In this article the operational algorithm of intellectual system namely forecasting of estimated assessment of the probability of bankruptcy of bank establishments on the basis of the dynamic normative index model is presented. The author's proposed algorithm for the operation of Fukushima's four-layer cognitron in the intellectual banking system makes it possible to increase the accuracy of nonlinear forecasting of financial estimates of bankruptcy probability of banking institutions of different groups and different forms of ownership for the future reporting period, which will optimally determine the financial condition of bankruptcy, to ensure effective decision-making for future reporting periods.

The new scientific results of this publication is realized in the intellectual system of inversely propagate the error of hidden layers and forming, also, there are five competing areas in them, in which the initial activation functions are generated and set the actual response to the sample input. The realized by author self-learning algorithm of intellectual system significantly increases the results of forecasting the assessment of the probability of bankruptcy. There is the selection of absolute and relative indicators in order to determine the normative ratios between growth rates, the calculation of integral indicator of the probability of bankruptcy and the layers of bankruptcy for three risk groups due to introduced standard squares activation functions in areas of competition of hidden layers and maximum loss function of the effective source layer.

The science research was made and the obtained results confirm the effectiveness of the algorithm of the intellectual banking system at the stages introduced by the author: storage, processing and issuance of information, as well as forecasting bankruptcy depending on the state of inputs and outputs, intermediate and overall results, both early and final stages of bankruptcy detection.

Keywords: assessment of the probability of bankruptcy; forecasting indicators; normative index model; intellectual bank system; artificial neuron; Fukushima's cognitron education; training sample; direct error propagation algorithm; the algorithm of inversely propagate of the error; area of competition; activation function; loss function; standard squares loss function; maximum loss function.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним із напрямків розвитку в області штучного інтелекту є інтелектуальні інформаційні системи (ІС), які ефективно застосовують при прийнятті рішень низько формалізованих задач враховуючи нечітко виражені фактори: економічні, політичні, соціальні, тощо. За останні роки інтенсивним став розвиток інтелектуальних банківських систем (ІБС), в яких реалізуються діагностика економічних та фінансових станів діяльності, плани стратегічного розвитку та антикризового управління з вибором оптимальних рішень економічного та інвестиційного аналізу, оцінки ризиків і загрозливих станів банкрутства.

Основною проблемою при реалізації ІБС постає проблема вибору ефективних рішень на основі виявлених функціональних або логічних закономірностей за сформованими результатами фінансової діяльності та прийняттям подальших оптимальних рішень. Впроваджені банківські системи реалізують високий рівень автоматизації процесів підготовки інформації для прийняття рішень, але

не забезпечені достатнім інтелектуальним рівнем у прийнятті оптимальних рішень. Тому перед автором постає проблема розробки ефективного функціонування інтелектуальної банківської системи, яка буде виявляти оцінку ймовірності банкрутства банківських установ, визначення прогнозованих її значень на майбутні періоди та, за їх результатами, формування системи інтерпретацій знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз різних джерел показав, що на даний момент немає чіткого і однозначного методу реалізації інтелектуальної банківської системи. Авторами [5, 6, 7] розроблено та запроваджено різні методи та моделі штучного інтелекту з урахуванням специфіки предметної області дослідження та, залежно, від стану зовнішнього середовища ситуаційної задачі. При дослідженні банківського сектору проводиться інтелектуальний аналіз даних фінансових установ функціональні можливості систем. У зарубіжних банках впроваджують рободвайзери, які консультують клієнтів та асистують керівникам при обробці персональних профілів клієнтів, забезпечують обробку та аналіз даних для побудови моделей кредитного ризику, що прогнозують ймовірність рівня дефолту.

Для реалізації таких систем використовуються моделі та методи нейронних мереж, засновані на адаптованих алгоритмах самонавчання: прямого та зворотного поширення помилки, переважно більшістю вітчизняних і зарубіжних вчених. У праці автора [2] запропоновано модель інтелектуальної банківської системи, яка визначатиме загрозливі стани банкрутства вітчизняних банків, а для її ефективного функціонування виникає необхідність розробки адаптованого алгоритму при прийнятті фінансових стратегій інтелектуального розвитку.

Виділення невіршених раніше задач. При впровадженні інтелектуальна банківська система повинна характеризуватися за наступними ознаками: вмінням вирішувати складні низько формалізовані завдання; здатністю до самонавчання; адаптивністю та здібністю до прийняття комунікативних управлінських рішень. Тому перед автором поставлена задача в реалізації оригінального алгоритму, який буде надавати рішення залежно від конкретного ситуаційного плану, забезпечуючи динамічність вихідних даних і формування набутого, в процесі функціонування, інтелекту.

Формулювання цілей статті. Для ефективного функціонування інтелектуальної банківської системи перед автором поставлена проблема реалізації алгоритму, який буде задовольняти: фу-

нкціонування в процесі обробки з невизначеними або динамічними даними, коли методи обробки можуть змінюватися і уточнюватися по мірі надходження нових даних; приймати рішення, коли, залежно від показників, є не чітко виражені класи в класифікації станів банкрутства; здатність системи до самонавчання та вибору знань за накопиченим досвідом сформованих конкретних ситуаційних планів; можливість використання інформації, з наявних баз даних, що дозволить зменшити обсяги пошуку датасетів при прийнятті оптимальних рішень; бути здатною до аддуктивних висновків (висновків за аналогією); здатністю надавати рекомендації; своєчасно попереджати про загрозові ситуації, які можуть призводити до можливих станів банкрутства.

Виклад основного матеріалу. За попередніми дослідженнями автора [2], яким було запропоновано архітектуру інтелектуальної банківської системи, виникає необхідність впровадження алгоритму ІБС за такими етапами функціонування:

Етап 1. Розрахунок оцінки ймовірності банкрутства на основі динамічної нормативно-індексної моделі. На даному етапі в інтелектуальній системі розраховується комплексна оцінка ймовірності банкрутств кожної банківської установи різних груп і форм власності на основі модернізованої нормативно-індексної моделі з врахуванням абсолютних і відносних показників, які формуються за результатами поданої фінансової звітності. За відібраними коефіцієнтами та показниками фінансових станів банківських установ визначаються та зберігаються в базі даних: результати розрахунків економічної інтерпретації співвідношень між темпами зростання показників за різні звітні періоди; матриця фактичних преференцій залежно від еталонних преференцій за співвідношенням показників, що включені до моделі; результати розрахунків інтегральних показників і визначення рівнів ймовірності банкрутств банків за минулі та поточні періоди [1].

Сформована в базі даних навчальна вибірка (датасет) є основою для функціонування алгоритму самонавчання організованого в системі когнітрону, завдяки якому буде здійснюватися прогноз на майбутні звітні періоди.

Етап 2. Прогнозування оцінки ймовірності банкрутства кожної банківської установи. На даному етапі здійснюється прогноз оцінки ймовірності банкрутства на майбутній звітний період по кожній банківській установі. Прогнозні значення визначаються в моделі чотирьохшарового когнітрону Фукушіми [2], штучна мережа, якого складається з чотирьох компонентів:

— вхідний прошарок;

- приховані (обчислювані прошарки);
- вихідний прошарок.

Для кожного прошарку в мережі формально описано штучний нейрон N_a за формулою:

$$N_a = \sum_{i=1}^n (x_i w_i) + f_a.$$

де x_i — вхідні дані обраних показників за фінансовою звітністю банку [1];

w_i — сигнали синаптичного зв'язку, що надходять від інших активних нейронів мережі;

f_a — функція активації.

Структуру когнітрона складають штучні нейрони двох типів:

— збудливі N_{a_3} , які визначаються за формулою:

$$N_{a_3} = \sum_{j=1}^n a_{3j} w_{a_{3j}},$$

де a_{3j} — збудливі входи j -го нейрона;

$w_{a_{3j}}$ — збудливі сигнали синаптичного зв'язку, що надходять від j -тих збудливих нейронів у вхідному прошарку.

— гальмівні N_{a_r} , описані формулою:

$$N_{a_r} = \sum_{j=1}^n a_{rj} w_{a_{rj}},$$

де a_{rj} — гальмівні входи j -го нейрона;

$w_{a_{rj}}$ — гальмівні сигнали синаптичного зв'язку, що надходять від j -тих гальмівних нейронів у вхідному прошарку;

По значенням N_{a_3} та N_{a_r} визначається вихідний вектор $f_{N_{a_i}}$ i -тих нейронів вхідного прошарку за формулою:

$$f_{N_{a_i}} = \frac{1+N_{a_3}}{1+N_{a_r}} - 1.$$

Вихідний вектор нейрона вхідного прошарку встановлюється $f_N = w_N$, в тому випадку, коли $f_{N_{a_i}} > 0$. Інакше – вихідний вектор рівний $f_N = 0$.

Гальмівні та збудливі нейрони передаються до прихованого прошарку [2] по 5-ти групах ризику [4] до відповідних областей

конкуренції (А, В, С, D, E). У межах кожної групи проходить навчання мережі за алгоритмом зворотного поширення помилки, який передбачає два проходи по всіх її прошарках: прямий і зворотний.

При прямому проході вхідний вектор подається на вхідний прошарок нейронної мережі, після чого поширюється по мережі від прошарку до прошарку. В результаті генерується набір вихідних векторів. Під час прямого проходу всі синаптичні сигнали мережі фіксовані.

Під час зворотного проходу всі синаптичні сигнали формують сигнал помилки [3], після чого налаштовується фактичний вихід відповідно до корекції розрахованої помилки. Цей сигнал, при навчанні, поширюється по мережі в напрямку, зворотному напрямку синаптичних зв'язків. Вихідні синаптичні сигнали налаштовуються до максимально наближених прогнозованих значень оцінки ймовірності банкрутства. Даний алгоритм передбачає такі кроки навчання мережі:

1 крок: на входи когнітрону подаються значення з навчальної вибірки на відповідні виходи конкурентних областей.

2 крок (прямий прохід навчання): обчислення в циклах виходів на всіх прошарках і отримання вихідних значень кожної конкурентної області прихованих прошарків при $f_{a_j}^0 = x_j$, $f_0^{k-1} = 0$, $x_0 = 1$ розраховується, як:

$$f_{N_{a_i}}^k = f_a(\sum_{j=0}^{N_{a_i}-1} w_{ij}^k \cdot f_{N_{a_i}}^k),$$

де $f_{N_{a_i}}^k$ — вихід i -го нейрона k -го прошарку;

f_a — функція активації конкурентної області;

w_{ij}^k — синаптичний зв'язок між j -тим нейроном пов'язаної області прошарку $k-1$ та i -тим нейроном прихованого прошарку;

k, x_i — вхідні значення навчальної вибірки.

3 крок (зворотний прохід навчання): зміна сигналів синаптичних зв'язків в циклах за формулами:

$$w_{ij}^k(t+1) = w_{ij}^k(t) + \eta \cdot \delta_i^k \cdot f_{a_j}^{k-1},$$

— для прихованих прошарків когнітрона:

$$\delta_i^k = f_{a_i} \cdot (1 - f_{a_i}) \cdot \sum_{i=1}^{N_{a_{k+1}}} \delta_i^{k+1} \cdot w_i^{k+1},$$

— для вихідного прошарку когнітрона:

$$\delta_i^k = (d_i - f_{a_i}) \cdot f_{a_i}(1 - f_{a_i}),$$

де t — номер поточної звітного періоду за циклом навчальної вибірки;

η — коефіцієнт навчання, заданий в інтервалі від 0 до 1;

$f_{a_i}^k$ — виходи i -того нейрона k -го прошарку;

w_{ji}^k — синаптичний зв'язок між j -тим нейроном прошарку $k-1$ та i -тим нейроном прошарку k ;

d_i — допустиме вихідне значення на i -му нейроні;

f_{a_i} — прогнозоване значення на i -го нейрона вихідного прошарку.

Вихідні дані з прихованого прошарку передаються через нелінійну функцію активації для отримання вихідного значення когнітрону:

$$f_a = f_{a_n}(f_{a_1}, f_{a_2}, f_{a_3}, f_{a_4}, f_{a_5}).$$

Розрахована функція активації задає зміщення в областях конкуренції прихованих прошарків і визначає форму її базової в наборі заданих даних при частковому збігу в порівнянні з розрахованою вихідною функцією.

4 крок: перевірка умови в процесі навчання (визначення функцій втрат та / або перевірка заданої кількості періодів). Якщо навчання не завершено, то повторно виконується 1 крок, інакше — закінчується процес навчання. Похибка (рис. 1) розраховується, як середньоквадратична функція [2—4] та обчислюється за формулою:

$$\varepsilon = \frac{1}{q} \cdot \sum_{q=1}^q \sum_{i=1}^{N_a} (d_i - f_{a_i})^2,$$

де q — загальне кількість вибірки даних;

N_a — кількість нейронів вихідного прошарку;

d_i — допустиме вихідне значення на i -го нейрона;

f_{a_i} — прогнозоване значення на i -го нейрона вихідного прошарку.

За результатами розрахованої середньоквадратичної функції активації (activation function) визначаються ті активні нейрони, які будуть передані до вихідного прошарку (рис. 1).

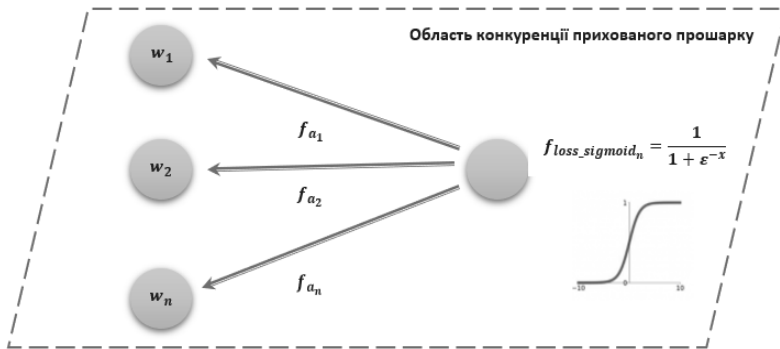


Рис. 1. Алгоритм навчання зворотного поширення помилки прихованих прошарків

При формуванні результатів в областях конкуренції можливий випадок, коли активованими в областях конкуренції виявляються кілька нейронів. У такому випадку можливе визначення значень активованих нейронів за відсотковим співвідношенням (наприклад, $f_{a_1}=25\%$; $f_{a_2}=50\%$; $f_{a_n}=75\%$ і т. д.). У такому випадку визначається нейрон з найбільшим значенням активаційної функції f_{loss_max} , що визначається за формулою:

$$f_{loss_max} = \max(\sum_{i=1}^{t_n} w_i x_i + f_{a_i}).$$

У цьому випадку застосована в алгоритмі функція втрат (loss function) мінімізує помилку двоїстості та достовірно визначає приналежність до відповідної групи ризику банкрутства. Таким чином, завдяки впровадженій в алгоритмі навчання функції втрат значно підвищується точність прогнозованої оцінки ймовірності банкрутства для кожної банківської установи, задіяної в інтелектуальній системі.

Етап 3. Формування інтелектуальної БД за результатами прогнозування. На даному етапі проходить формування інтелектуальної бази даних у системі для збереження прогнозованих значень по кожній банківській установі на майбутній звітний період. При формуванні проміжних результатів прогнозування, дані можуть не зберігатись в БД, а враховуватись у навчальній вибірці при прогнозуванні наступних проміжних результатів. Така організація БД надає можливість виконання процесу перенавчання в інтелектуальній системі [5].

Перенавчання (*overfitting*) надає перевагу моделі ефективно визначати класи належності за станом банкрутства за навчальною вибіркою, адаптуючись до ситуаційних планів та узагальнюючи навчальну вибірку. При цьому здійснюється запит у БД до інформації належної групи ризику та рівня загрози банкрутства, що значно підвищує швидкість самонавчання в інтелектуальній системі. Процес перенавчання реалізується у системі по методу виключення (*dropout*) та враховує проміжні результати прогнозування інших банків, за досвідом їх фінансової діяльності.

Етап 4. Формування в базі знань системи придбання знань та пояснення прийнятих інтелектуальних рішень. Задіяна в системі база знань [6], служить для представлення евристичної та фактологічної інформації у формі експертних рекомендацій, які будуть надаватись системою у процесі фінансової діяльності конкретному банку. У базі знань ІБС інтегруються знання по реалізації допустимих ситуаційних планів при прийнятті експертних рішень. База знань інтелектуальної системи [7] поділена на:

— *систему придбання знань* забезпечує процес формалізації знань експерта та поповнення бази знань, які набуті при самонавчанні ІБС;

— *система пояснення рішення* протоколює роботу системи, інтерпретуючи певні знань і видає їх користувачам у формі логічних висновків.

Така організація бази знань дозволяє користувачам прийняти стратегічні рішення.

Етап 5. Організація діалогової системи (dialogsystem). На даному етапі виникає необхідність організації діалогової системи за наступними методами логічних міркувань:

1) *дедукція* — міркування від складного до простого, проходить формування приватного правила на основі загально-прийнятого правила.

2) *індукція* — міркування від простого до складного, в яких на основі приватного досвіду синтезуються загальні правила.

3) *аналогія* — міркування на основі минулого досвіду, який набувається в процесі функціонування системи, формується прихована (неявна) закономірність, яка притаманна іншим об'єктам, задіяних в системі.

Висновки за виконаним дослідженням. У результаті сформованого алгоритму інтелектуальна банківська система задовольняє такі умови: значно підвищується точність прогнозованих оцінок ймовірності банкрутства банківських установ і достовірно встано-

влюється приналежність до певної групи банкрутства; завдяки запровадженним функціям активації та функції втрат, чітко формуються прогнозовані проміжні та кінцеві результати (максимально мінімізуються фактичні розраховані дані до прогнозованих); впроваджена в системі інтелектуальна база даних підвищує швидкість навчання системи; представлена структура бази знань своєчасно запропонує чітке рішення об'єктам дослідження та застрахує їх від загрозливих станів банкрутства.

Відзначимо, що повноцінно дана інтелектуальна система функціонувати не зможе без ефективної експертної бази знань. Подальші наукові розробки та дослідження будуть присвячені саме питанням розробки інтелектуальної бази знань в ІБС, яка в змозі буде забезпечити на якісному експертному рівні взаємодію користувача з об'єктом дослідження.

Бібліографічні посилання

1. Домінова І. В., Кисіль Т.М., Оцінка та прогнозування ймовірності банкрутства банківських установ України // Моделювання та інформаційні системи в економіці: зб. наук. пр. — Київ: КНЕУ, 2020. — Вип. №99, — С. 123–134
2. Кисіль Т. М. Архітектура когнітрона в інтелектуальній банківській системі // Моделювання та інформаційні системи в економіці: зб. наук. пр. — Київ: КНЕУ, 2019. — Вип. №98, — С. 123–134.
3. Кисіль Т. М. Нейросистеми та фінансові ринки: прийняття рішень в торгових операціях // Моделювання та інформаційні системи в економіці: зб. наук. пр. — Київ: КНЕУ, 2010 — Вип. №82 — С. 47–64.
4. Кисиль Т. Н. Оценка и прогнозирование стрессоустойчивости коммерческих банков // Инновационная экономика и менеджмент: Методы и технологии: Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Москва, 26 октября 2017 г. МГУ имени М.В. Ломоносова / Под ред. О.А. Косорукова, В. В. Печковской, С. А. Красильникова. — М.: Издательство «Аспект Пресс», 2018. — С. 193–196.
5. Роберт Левин, Диана Дранг. Практическое введение в технологию искусственного интеллекта и экспертных систем с примерами. /Пер. с англ. М.Л.Сальникова, Ю.В. Сальниковой. — М.: Мир, 2000. — 160 с.
6. Романов, В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике: Учебное пособие. — «Экзамен», 2003. — 496 с. 2.
7. Гаврилова, Т.А., Хорошевский, С.В. Базы знаний интеллектуальных систем: учебное пособие. — СПб.: Питер, 2006. — 382 с.

Статтю подано до редакції 06.11.2020

Корзаченко О. В., к.е.н.,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Korzachenko O. V., PhD,
Associate Professor of the Department of
Computer Mathematics and Information Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman

ЕВОЛЮЦІЯ МОДЕЛЕЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ: ВІД КЛАСИЧНОЇ ПОЛІТЕКОНОМІЇ ДО БІХЕВІОРИСТСЬКОЇ ЕКОНОМІКИ

EVOLUTION OF DECISION-MAKING MODELS: FROM CLASSICAL POLITICAL ECONOMY TO BEHAVIORAL ECONOMICS

Анотація. У статті досліджено еволюцію моделей прийняття рішень у класичній політекономії, неокласичній економіці та біхевіористській (поведінковій) економіці. Встановлено, що в основі економічного вибору лежить певна теорія раціональності, визначення якої трансформувалося паралельно з розвитком, економіки, науки та суспільства.

У роботі проаналізовано особливості теорій раціональності в економічній науці: теорія раціонального вибору (Дж.С. Міль), теорія максимально раціональної поведінки людини (К. Менгер, У.С. Джевонс і Л. Вальрас), теорія обмеженої раціональності (Г.А. Саймон), теорія очікуваної корисності (О. Моргенштерн, Дж. фон Нейман), теорія суб'єктивної очікуваної корисності (Л. Севідж), теорія перспектив (Д. Канеман, А. Тверські) та теорія підштовхування (Р. Талер, К.Р. Санштейн), а також досліджено математичний апарат обґрунтування економічного вибору.

Зроблено висновок, що моделі прийняття рішень, які притаманні класичній політекономії та неокласичній економіці, мають ряд недоліків і хибних припущень про поведінку агентів, які на практиці схильні діяти ірраціонально: інтуїтивно приймати рішення при неможливості або небажанні ретельно міркувати над ситуацією. Тому на особливу увагу заслуговують моделі поведінкової економіки: теорія перспектив і теорія підштовхування, в основі яких лежать принцип ухилення від втрат, ефект віддзеркалення і нелінійне оцінювання ймовірностей.

Ключові слова: прийняття рішень, економічний вибір, економічна поведінка, раціональність, моделі раціональності, теорія раціонального вибору, теорія обмеженої раціональності, теорія очікуваної корисності, теорія ігор, теорія суб'єктивної очікуваної корисності, теорія перспектив, поведінкова економіка, біхевіористська економіка, концепція підштовхування.

Abstract. This article explores the evolution of decision-making models in classical political economy, neoclassical economics and behavioral economy. It is established that the basis of economic choice is a certain theory of rationality, the definition of which was transformed in parallel with the development of economics, science and society.

The features of theories of rationality in economics are analyzed in the work: the rational choice theory (J.S. Mill), the theory of the most rational human behavior

(K. Menger, W.S. Jewons and L. Walras), the bounded rationality theory (H.A. Simon), the expected utility theory (O. Morgenstern, J. von Neumann), the subjective expected utility theory (L.J. Savage), the prospect theory (D. Kahneman, A. Tversky) and the nudge theory (R.H. Thaler, C.R. Sunstein), and also investigated the mathematical apparatus of substantiation of economic choice.

It is concluded that decision-making models inherent in classical political economy and neoclassical economics have a number of shortcomings and misconceptions about the behavior of agents who in practice tend to act irrationally: intuitively make decisions when it is impossible or unwilling to think carefully about the situation. Therefore, the models of behavioral economics deserve special attention: the prospect theory and the nudge theory, which are based on the principle of avoidance of losses, the effect of reflection and nonlinear estimation of probabilities.

Keywords: decision making, economic choice, economic behavior, rationality, models of rationality, rational choice theory, bounded rationality theory, expected utility theory, game theory, subjective expected utility theory, prospect theory, behavioral economics, nudge theory.

Постановка проблеми. Розвиток сучасної економічної думки і науки характеризується постійною зміною поглядів на процеси прийняття рішень, в основі яких покладені певні моделі раціональності. Класична економічна теорія розглядає економічну поведінку господарюючих суб'єктів як раціональну. Однак сучасні дослідження показали, що в процесах прийняття рішень лежать нерациональні поведінкові мотиви.

Прийняття рішень — це процес раціонального або ірраціонального вибору альтернатив, що має на меті досягнення усвідомленого результату. Ключова роль у прийнятті рішень відводиться суб'єкту економічних відносин — людині, індивіду або агенту, від поведінки якого залежить досягнення певного результату. Так Л. Робінссон у своїй праці «Нариси про природу і значення економічної науки» (1932 р.) зазначає, що «Економіка — це наука, що вивчає людську поведінку як відношення між цілями й обмеженими засобами, що мають альтернативне застосування» [16].

Очевидно, що ґрунтовне дослідження закономірностей вибору агентами шляхів вирішення економічних проблем, а також способів досягнення бажаних результатів є **актуальним** і сьогодні, особливо коли в умовах невизначеності прийняття рішень ускладнюється.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий внесок у розробку теорії раціонального вибору зробили Джон Стюарт Мілль, Карла Менгер, Вільям Стенлі Джевонс і Леон Вальрас; моделі очікуваної корисності в умовах невизначеності — Габріель Крамер, Даніель Бернуллі, Джон фон Нейман, Оскар Моргенштерн, Леонард Севідж, Уорд Едвардс, Моріс Аллі, Даніель Елсберг. Фундаментальними працями в галузі ірраціональної природи

прийняття рішень є дослідження Герберта Саймона, Даніеля Канемана, Амоса Тверські, Річарда Талера, Каса Санстейн, Коліна Камерера та інших.

Метою статті є дослідження еволюції моделей прийняття рішень у класичній політекономії, неокласичній економічній теорії та біхевіористській економіці, а також визначення поведінки агентів у цих моделях.

Виклад основного матеріалу дослідження. В основі еволюції моделей прийняття рішень стояла *теорія раціонального вибору*. Вона орієнтувалася на класичну політичну економію Адама Сміта, який у своїх працях «Теорія моральних почуттів» (1759 р.) і «Дослідження про природу і причини багатства народів» (1776 р.) спирався на ідею раціональної поведінки або раціональності. Сміт вважав, що людина є основою усього суспільства, і досліджував її поведінку в сукупності з мотивами та прагненням до особистої вигоди.

Концепцію раціональної поведінки сформулював у 1836 р. Джон Стюарт Мілль, який запропонував модель «людини економічної» (*homo economicus*). У рамках цієї моделі людина неминуче робить те, за допомогою чого вона може отримати найбільшу кількість предметів першої необхідності, зручностей і розкоші при найменшій кількості праці, фізичних зусиль і самозречення [14].

Згодом ця ідея була запозичена авторами *маржиналістської революції*, яка завершилася створенням у 70-ті роки XIX століття неокласичної школи. Маржиналізм — це напрям економічної науки, який широко застосовує методи аналізу, що засновані на використанні граничних величин в економіці (гранична корисність, гранична продуктивність, граничні витрати, граничний дохід).

Маржиналістами людина розглядається як раціональна істота, мета якої — максимізація задоволення власних потреб (отримання максимуму корисності). Коли всі учасники економічних відносин отримують певний максимум виникає економічна рівновага. Так з'явилася *теорія максимально раціональної поведінки людини* (К. Менгер, У.С. Джевонс і Л. Вальрас) [10]. Саме вона сприяла подальшому бурхливому розвитку економічної науки.

З часом альтернативною повній раціональності стала *теорія обмеженої раціональності*. Герберт А. Саймон запропонував в якості основи для математичного моделювання прийняття рішень замість принципу максимізації використовувати принцип задоволення, тобто вибір агентами не кращої, а першої альтернативи, яка задовольняє їх вимоги [4, 19].

Поняття обмеженої раціональності ґрунтується на твердженні, що в процесі прийняття рішення людина відчуває ряд проблем,

пов'язаних із когнітивними обмеженнями розуму, браком часу та ресурсів. Таким чином, дії агентів не можуть бути повністю раціональними, оскільки вони прагнуть знайти не оптимальне, а задовільне рішення [5]. Теорія обмеженої раціональності дала початок зародженню біхевіористської економіки і психології.

Особливістю розглянутих моделей прийняття рішень є те, що вони не враховують дій інших агентів, які можуть впливати на процес вибору.

Надалі теорія обмеженої раціональності дала початок зародженню *теорії очікуваної корисності*, яскравими представниками якої стали учені австрійської школи: економіст Оскар Моргенштерн і математик Джон фон Нейман.

Математичне формулювання теорії очікуваної корисності сходить до Габріеля Крамера (1728 р.) і Даніеля Бернуллі (1738 р.). Намагаючись обґрунтувати поведінковий парадокс гри «орел-решка» (за нескінченно великого математичного очікування виграшу більшість людей ухиляються від участі в ній), Д. Бернуллі припускав, що індивід максимізує не очікуваний грошовий виграш, а очікувану корисність [2].

Запропонована ним функція корисності $U(x)$ має вигляд логарифмічної кривої, яка відображає спадання приросту корисності, що викликаний послідовними рівними приростами багатства. Однак Д. Бернуллі не ставив перед собою завдання вимірювання корисності та не намагався пояснити, чому його принцип очікуваної корисності можна вважати раціональним. Хоча теорія Бернуллі є головним чином описовою моделлю, для свого часу сам принцип очікуваної корисності міг виглядати цілком переконливо і з нормативної точки зору.

Розвитку теорії очікуваної корисності сприяло відкриття Джоном фон Нейманом нового розділу математики — теорії ігор. У 1928 р. вийшла його стаття «До теорії стратегічних ігор», в якій визначено, що результат для гравця залежить і від його ходу, і від ходу його партнера. Вперше математичні аспекти та застосування теорії ігор в економіці були викладені в книзі «Теорія ігор і економічна поведінка» (Дж. фон Нейман й О. Моргенштерн, 1944, 1947 рр.) [3]. Автори розробили формалізовані моделі поведінки людини у процесі прийняття рішень і довели, що принцип максимізації очікуваної корисності є критерієм раціональності прийнятих рішень.

Відповідно до теорії ігор, колективні дії та вибір виявляють усі формальні ознаки гри-торгу з n -ю кількістю учасників: застосування гравцями набору тактик-ходів, наявність індивідуальних пе-

реваг і заданих результатів-винагород, можливість досягнення колективного результату — точки рівноваги, в якій кожен з гравців досягає оптимуму.

Використання концептуального апарату теорії ігор дозволило переосмислити концепцію раціонального вибору і чіткіше сформулювати протиріччя між індивідуальною та колективною раціональністю.

Вчені дійшли висновку, що у ситуації коли традиційний критерій раціональності поведінки (максимізація корисності), що покладений в основу економічної теорії, є недостатньо визначеним кількісно, оскільки поведінка агента залежить від дій партнера, найприйнятнішим критерієм раціональності є максимізація очікуваної корисності:

$$EU = \sum_{i=1}^n p_i u(x_i),$$

де x_i — результати, $i = \overline{1, n}$; $u(x_i)$ — функція корисності i -го результату, p_i — ймовірність i -го результату [18].

Модель очікуваної корисності опинилася у фокусі багатьох теоретичних і емпіричних досліджень, а її математичне формулювання піддавалося численним інтерпретаціям і модифікаціям [18].

Одним із напрямів сучасної теорії корисності стала *теорія суб'єктивної очікуваної корисності*, розроблена Леонардом Севіджем у 1954 р. Основою цієї теорії є індивідуальні для кожної особи функція корисності блага та розподіл ймовірності (на основі байєсівської теорії ймовірності) [17]. Головним результатом досліджень суб'єктивної очікуваної корисності є те, що суб'єктивні ймовірності нелінійно пов'язані з об'єктивними (У. Едвардс, 1953-1954 р.) [8, 9]. Типові криві суб'єктивних ймовірностей характеризуються завищеними вагами для низьких ймовірностей і заниженими — для високих.

Незважаючи на виявлені аномалії теорії очікуваної корисності (парадокси М. Аллі [1], Д. Еллсберга), вона залишається відправною точкою аналізу невизначеності, критерієм раціональності в сучасній неокласичній економічній теорії.

Експериментатори узагальнили деякі аномалії, які найчастіше зустрічалися, і розробили на їх основі *теорію перспектив*, яку в 1979 р. описали психологи Деніел Канеман і Амос Тверські в статті «Теорія перспектив: аналіз рішення в умовах ризику» [12], потім вони допрацювали свою теорію й опублікували уточнення в

1992 р. у статті «Успіхи у теорії перспектив: кумулятивне уявлення невизначеності» [22].

Модель теорії перспектив виражається формулою, за якою обчислюється цінність або корисність можливих альтернатив:

$$V = \sum_{i=1}^n \pi(p_i)v(x_i),$$

де V — альтернатива, в якій є n можливих результатів; p_i — ймовірність настання i -го результату альтернативи, $i = 1, n$; $\pi(p_i)$ — функція коригування ймовірності (або функція суб'єктивної ймовірності); x_i — значення результату альтернативи на горизонтальній осі «втрати / доходи» функції цінності; $v(x_i)$ — функція цінності [12, 22].

Досліджуючи властивості функції цінності слід виділити такі: функція опукла для вигравів і увігнута для програвів (тобто індивід схильний до ризику якщо програш неминучий і демонструє неприйняття ризику у разі виграшу); крутизна функції для програвів більша, ніж для вигравів, що відображає асиметрію в оцінці програвів і вигравів однакової величини.

Цінністю альтернативи є сума добутків суб'єктивної ймовірності настання результату на його значення на функції цінності. Очевидно, що для агенту, який приймає рішення, перевага альтернативи зростає разом зі збільшенням її цінності.

За теорією перспектив люди оцінюють результати не відповідно до методології і методів теорії корисності, а як сукупність вигравів і втрат. При цьому суб'єктивна цінність втрат буде вищою, ніж цінність здобутків, тобто агенти переоцінюють ймовірність малоймовірних подій і навпаки. На відміну від теорії очікуваної корисності, теорія перспектив показує, що суб'єктивна оцінка результатів залежить від формулювання проблеми.

Важливий висновок із теорії перспектив полягає у тому, що прийняття рішень економічними агентами є суб'єктивним і ґрунтується на власному сприйнятті цінності або корисності, яку вони очікують отримати. Такий аспект теорії перспектив закладений в основу біхевіористської економіки та «ментального бухгалтерського обліку» [20].

У 2002 р. психолог Деніел Канеман отримав Нобелівську премію з економічних наук «за інтегрування висновків психологічних досліджень в економічну науку, особливо щодо людського судження і прийняття рішень в умовах невизначеності».

Річард Талер, вивчаючи наслідки обмеженої раціональності, соціальних переваг і відсутності самоконтролю, показав, як ці людські

риси систематично впливають на прийняття рішень, а також на результати ринку. Його емпіричні відкриття та теоретичні ідеї зіграли важливу роль у створенні нової області науки – *біхевіористської (поведінкової) економіки*.

У дослідження Р. Талера покладені наукові ідеї А. Саймона, Г. Канемана, А. Тверські та інших авторів, які розкривали сутність обмеженої раціональності. У роботах Р. Талера, К. Джоллс, К.Р. Санштейна розглядаються конкретні проблеми економічного аналізу права й економіки, пропонуються нові моделі та підходи для їх вирішення [11].

Р. Талер, Н. Барберіс стверджують, що деякі фінансові явища можна правдоподібно обґрунтувати, використовуючи моделі, в яких агенти неповністю раціональні. Автори представляють ряд додатків поведінкових фінансів: для сукупного фондового ринку, індивідуальної торгової поведінки і корпоративних фінансів [7].

У 2017 р. за «включення психологічно реалістичних припущень в аналіз прийняття економічних рішень» Р. Талер був нагороджений Нобелівською премією з економічних наук.

Річард Талер стверджував, що знаючи стандартні помилки прийняття рішень, можна «підштовхувати» людей до прийняття економічно «правильних» рішень [21].

Концепція підштовхування була описана в книзі «Підштовхування: поліпшення рішень про здоров'я, багатство і щастя» в 2008 р. Річардом Талером і вченим-юристом Кесс Санстейном [6]. Підштовхування — це концепція в біхевіористській економіці, політичній теорії і поведінкових науках, яка пропонує позитивне підкріплення та непрямі навіювання як способи впливу на поведінку і прийняття рішень групами або окремими людьми. В основі цієї теорії лежать реальні риси агентів: ухилення від втрат, ефект віддзеркалення і нелінійне оцінювання ймовірностей.

Концепція підштовхування лягла в основу Behavioural Insights Units у Великобританії, США, Канаді, у завдання яких входить вивчення та розробка механізмів, що дозволяють людям приймати правильні рішення без тиску законів, заборон або покарань. Це стосується фінансів, споживання, пенсійних заощаджень, освітніх стратегій, навколишнього середовища й охорони здоров'я.

Математичні основи поведінкової економіки визначаються в основному теорією обчислень й обчислювальної складності та поняттям суб'єктивної ймовірності, вони здійснили вирішальний вплив на індивідуально-раціональні економічні теорії поведінки зі спробами розширити і поглибити поняття раціональності, кидаючи виклик його ортодоксальним варіантам [13].

Висновки. За весь час свого розвитку теорія прийняття рішень і поняття раціональності, яке лежить в основі економічного вибору агента, зазнали значних трансформацій, що пов'язано з розвитком наукової економічної думки, соціальних і психологічних наук і зі зміною місця та ролі людини у соціально-економічному просторі.

Класична економічна теорія побудована на припущенні, що люди — homo economicus діють раціонально у власних інтересах. Незважаючи на значні недоліки моделі раціонального економічного агента, деякі науковці й досі відстоюють її правильність, деякі стверджують, що стандартну модель легше формалізувати і вона актуальніша на практиці. Емпіричні та експериментальні докази спростовують надійність такого фактору, як необмежена раціональність.

Недоліки стандартного підходу виникають через те, що він не бере до уваги систематичні психічні упередження, які забарвлюють всі людські судження та рішення. У поведінкових моделях закладені адекватніші характеристики економічних агентів [15]: обмежені обчислювальні можливості (прагнення задовольнити, а не максимізувати цінність); сильний вплив соціальних мереж і домінуючих соціальних норм; взаємодія та благодійність; недостатність самоконтролю; знецінення майбутніх вигод на користь тих, що можна отримати зараз; неприйняття втрат і ризику; залежність поведінки від обставин.

Вчені довели, що психологічні ідеї можна формалізувати та перетворити в обґрунтовані передбачення. При прийнятті рішень необхідно визначати чим поведінка агента відрізняється від стандартної моделі та показувати, яке значення має така поведінка в економічному контексті.

Саме поведінка людини, її творче мислення (здатність до неформальних вчинків, неортодоксальні рішення та дії) є основною рушійною силою для досягнення ефективного соціально-економічного розвитку суспільства в сучасних умовах.

Бібліографічні посилання

1. Алле М. Поведение рационального человека в условиях риска: критика постулатов американской школы. THESIS. 1994. Т.2. №5. С. 217–241.

2. Бернулли Д. Опыт новой теории измерения жребия [1738]. Вехи экономической мысли, Том.1 Теория потребительского поведения и спроса. СПб.: Экономическая школа, 1993. С. 11–27.

3. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. Монография. М.: Наука, 1970. 708 с. URL: <https://drive.google.com/file/d/1iN27YOs2lWsvNlRhdvDu87LNSSwNeMOd/view>.

4. Саймон Г.А. Рациональность как процесс и продукт мышления. THESIS. 1993. №3 - 1993. С. 16 – 38. URL http://ecsocman.hse.ru/data/629/779/1217/3_1_2simon.pdf.
5. Саймон Г.А. Теория принятия решений в экономической теории и науке о поведении. Вехи экономической мысли Т.2. Теория фирмы. СПб.: Экономическая школа, 2000. С. 54 – 72. URL: http://gallery.economicus.ru/cgi-bin/frame_rightn_newlife.pl?type=in&links=../in/simon/works/simon_w1.txt&img=works_small.gif&name=simon.
6. Талер П., Санштейн К. Подталкивание: принятие решений о здоровье, богатстве и счастье. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2008. 330 с.
7. Barberis N., Thaler R.H. A Survey of Behavioral Finance. Handbook of the Economics of Finance. 2003. 1. P. 1053–1128.
8. Edwards W. Probability Preferences Among Bets with Differing Expected Values. American Journal of Psychology. 1954. V.67. P. 55–67.
9. Edwards W. Probability-Preferences in Gambling. American Journal of Psychology. 1953. V.66. P. 55–67.
10. Jevons W.S. The Theory of Political Economy. 1871. URL: https://www.econlib.org/library/YPDBooks/Jevons/jvnPE.html?chapter_num=8#book-reader.
11. Jolls C., Sunstein C.R., Thaler R.H. A behavioral approach to law and economics. Stanford law review. 1998. 50(5). P. 1471 – 1550.
12. Kahneman D., Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk. Econometrica. 1979. 47. P. 313 – 327.
13. Kao Y.-F., Velupillai K.V. Behavioural Economics: Classical and Modern. The European Journal of the History of Economic Thought. 2015. 22:2. P. 236 – 271.
14. Mill J.S. Principles of Political Economy. New York: D. Appleton and Company, 1885. 810 p. URL: <https://eet.pixel-online.org/files/etranslation/original/Mill,%20Principles%20of%20Political%20Economy.pdf>.
15. Mullainathan S., Thaler R.H. Behavioral Economics. NBER Working Papers 7948. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2000. URL: <https://www.nber.org/papers/w7948.pdf>.
16. Robbins L. An essay on the Nature and Significance of Economic Science. Macmillan, 1972. 160 p. URL: <https://mileskorak.files.wordpress.com/2020/02/robbins-essay-nature-significance-economic-science.pdf>.
17. Savage L.J. The foundations of statistics . New York: John Wiley & Sons; London: Chapman & Hall, 1954. 294 p.
18. Schoemaker P. J.H. The Expected Utility Model: Its Variants, Purposes, Evidence and Limitations. Journal of Economic Literature. 1982. V.XX. №2. P. 529 – 563. URL: https://igiti.hse.ru/data/409/313/1234/5_1_2_Schoe.pdf.
19. Simon H.A. A Behavioral Model of Rational Choice. Quarterly Journal of Economics. 1955. 69. P. 99 – 118.
20. Thaler R.H. Mental Accounting and Consumer Choice. Marketing Science. 1985. 4(3). P. 199 – 214.

21. Thaler R.H. Behavioral Economics: Past, Present and Future. American Economic Review. American Economic Association, 2016. Vol. 106(7). P. 1577 – 1600.

22. Tversky A., Kahneman D. Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty. Journal of Risk and Uncertainty. 1992. Vol. 5. P. 297–323.

Статтю подано до редакції 11.10.2020

УДК 004.415.53:004.414.38

DOI 10.33111/mise.100.9

Корзаченко О. В., к.е.н.,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
Міщенко Д. С.,
студентка 4 курсу спеціальності «Системний аналіз»,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Korzachenko O. V., PhD,
Associate Professor of the Department of
Computer Mathematics and Information Security,
Mishchenko D. S.,
4th year student majoring in «System Analysis»,
SHEI KNEU named after V. Hetman

АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ ПРИЙМАЛЬНОГО КОРИСТУВАЦЬКОГО ТЕСТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ANALYSIS OF STRATEGIES OF USER ACCEPTANCE TESTING OF INFORMATION SYSTEMS

Анотація. Стаття присвячена дослідженню стратегій приймального користувацького тестування — остаточне тестування інформаційної системи, яке виконується спільно з кінцевим користувачем або клієнтом для того, щоб перевірити, чи система є повна і коректна для використання у реальному бізнес-середовищі. У роботі визначено, що підґрунтям успішного проведення UAT у проєкті є визначення вимог, розроблення критеріїв прийняття та вибір стратегії тестування. Проаналізовано концепцію та стратегії проведення UAT на основі чорної скриньки, поведінкових сценаріїв і тестування операцій. Досліджено формалізовану модель поведінкового UAT з деревами сценаріїв, розглянуто стратегії приймального тестування операцій і наведено приклад визначення обсягу тест кейсів на основі зваженої критичності. Виявлено основні переваги та недоліки стратегії UAT і зроблено їх порівняльний аналіз на основі таких критеріїв: підхід до тесту, залученість користувачів, усунення багів і критеріїв прийняття.

Зроблено висновок, що приймальне користувацьке тестування є невід'ємним і важливим процесом, який потребує великого обсягу часу, адже на даний момент не існує інструменту, за допомогою якого можна зробити всі необхідні та продумані дії під час тестування. Слід зазначити, що вибір стратегії UAT має здійснюватися індивідуальною кожною проектною командою, враховуючи специфіку програмного продукту, який розроблюється. Вважаємо, що незалежно від вибору, до стратегії слід включати оцінювання ризиків, визначення елементів системи, операцій і бізнес-процесів, які найбільш схильні до впливу та наслідків через допущені помилки в них. Це дозволить ефективно розподілити ресурси та приділити особливу увагу елементам інформаційної системи, дефекти в яких матимуть найбільший вплив.

Ключові слова: приймальне користувацьке тестування, тестування на основі чорної скриньки, поведінкове приймальне тестування на основі сценаріїв, стратегія приймального тестування операцій, формалізована модель, дерево сценаріїв, критична вага, критерій першого прийняття, критерій другого прийняття, інформаційна система, IT-проект.

Abstract. The article focuses on the study of User Acceptance Testing strategies — the final testing of the information system, which is performed in conjunction with the end user or client to verify that the system is complete and correct for use in a real business environment. It was determined that the basis for the successful implementation of UAT in the project is the definition of requirements, development of eligibility criteria and the choice of testing strategy. The concept and strategies of conducting UAT based on the black box, behavioral scenarios and testing of operations, and their purpose are analyzed. The formalized model of behavioral UAT with scenario trees is investigated, the model of strategy of User Acceptance Testing of operations is considered and the example of definition of volume of test cases on the basis of the weighted criticality is given. The main advantages and disadvantages of UAT strategies are identified and their comparative analysis is made on the basis of the following criteria: test approach, user involvement, bug fixes and acceptance criteria.

It is concluded that the acceptance of User Acceptance Testing is an integral and important process that requires a lot of time, because at the moment there is no tool with the help of which you can do all the necessary and thoughtful actions during testing. It should be noted that the choice of UAT strategy should be made individually by each project team, taking into account the specifics of the software product to be developed. We believe that regardless of the choice, the strategy should include risk assessment, identification of elements of the system, operations and business processes that are most affected and consequences due to mistakes in them. This will allow for efficient allocation of resources and special attention to the elements of the system in which defects will have the greatest impact.

Keywords: User Acceptance Testing, Black Box Testing, scenario-based behavioral acceptance testing, operations acceptance testing strategy, formalized model, scenario tree, critical weight, first acceptance criterion, second acceptance criterion, information system, IT project.

Постановка проблеми. Особливо важливим і критичним етапом проекту розробки будь-якої інформаційної системи, програми, додатку є фаза перевірки їх прийнятності користувачами, яка сигналізує про те, що реалізовано всі необхідні функціональні можливості та вимоги до програмного продукту. Приймальне ко-

ристувацьке тестування (User Acceptance Testing, UAT) — це перевірка відповідності системи вимогам, які визначені потребами користувачів у їх робочому середовищі та з реальними сценаріями відповідно до специфікацій.

Важливим є факт, що етап UAT надає останню можливість розробникам виявити та усунути наявні проблеми в програмному продукті, перед тим як його запустять у продакшн. За результатами дослідження компанії Standish Group на етапі впровадження системи чистота програмного коду має становити 99,9 %, оскільки виправлення помилок на цьому етапі є доволі трудомістким, дорогим і шкодить репутації як розробника, так і замовника [8].

Незважаючи на важливість у забезпеченні придатності системи для реалізації запланованих цілей і можливу мінімізацію ризиків невдачі проекту, розробники не завжди приділяють UAT необхідну увагу та оцінюють його дійсну значимість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням сутності та особливостей UAT, їх класифікації, методів, моделей, інструментів присвячені праці закордонних практиків і учених: P. Hsia, J. Samuel, D. Kung, L. Li, C.T. Hsu, C. Chen, Y. Toyoshima, P. Pandit, S. Tahiliani, H. K.N. Leung, P. W.L. Wong, M. E. Khan, F. Khan та інші. Українська наукова спільнота не займається дослідженням UAT як окремої специфічної галузі тестування програмних продуктів, а розглядає його опосередковано, як рутину частину загального процесу тестування.

Метою статті є змістовний аналіз стратегій і методів приймального користувацького тестування інформаційних систем.

Виклад основного матеріалу дослідження. Приймальне користувацьке тестування надає впевненість розробникам, що їх продукт придатний до використання та досяг своєї мети. Залежно від обраної моделі життєвого циклу проекту UAT здійснюється перед його звершенням або наприкінці кожної фази, ітерації або спринту. У ньому беруть участь не тільки кінцеві користувачі, але й команда з забезпечення якості, розробники, бізнес-аналітики та керівництво вищого рівня.

До основних типів UAT відносять прийомні випродування користувачів (внутрішні альфа-тести та зовнішні бета-тести), експлуатаційні, нормативні та контрактні тести [7].

Часто документ про технічні умови та вимоги є єдиним шаблоном для тестування. Всі дії з розробки системи повинні перевірятися на відповідність специфікаціям і вимогам. Необхідно реалі-

зувати серію тестів, які будуть відображати вимоги до бізнес-процесів, операцій і звітності користувача. Ці тести визначають, чи буде продукт правильно підтримувати бізнес.

Слід, зазначити, що за гнучкою методикою (agile) розробки програмного забезпечення історії користувача (user stories) є альтернативою документу вимог, який складається при застосуванні каскадної моделі (waterfall). Історія користувача — це вимога до будь-якої функціональності або функції, яка записана у кілька рядків [9].

Також необхідно сформулювати критерії прийняття, які визначають ступінь виконання user story або вимоги (рис. 1). Найпоширенішими є історії орієнтовані на правила (у вигляді списку) та сценарії. Сценарії активно використовуються agile командами, оскільки вони допомагають переходити до різних вимог, описуючи окремі варіанти використання.

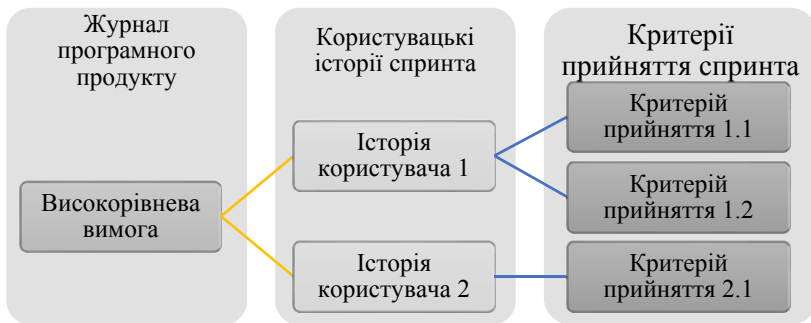


Рис. 1. Взаємозв'язок user stories та критеріїв прийняття у спринті IT-проєкту

Тобто підґрунтям успішного проведення UAT у проєкті є визначення вимог, розроблення критеріїв прийняття та вибір стратегії тестування, серед яких доцільно виділити такі: (1) поведінкове приймальне тестування на основі сценаріїв; (2) тестування на основі чорної скриньки; (3) тестування на основі операцій.

Поведінкове тестування на основі сценаріїв є частиною методології BDD (Behavior Driven Development), за якою першочергово розробляються історії користувача або сценарії, що в подальшому використовуються для документування функцій системи та запуску тестів прийняття [1]. Сценарій — це конкретний приклад використання системи, що складається із впорядкованої послідовності подій, які відображають вимоги користувача або замовника

[3]. Шаблони сценаріїв, що складаються з однакової впорядкованої послідовності типів подій і виконання заданої вимоги до системи, утворюють схеми сценарію.

У межах цієї стратегії на особливу увагу заслуговує спроба формалізації моделі з використанням дерев рішень і теорії автоматів [2, 4]. Модель складається з трьох типів субмоделей, які є набором схем сценаріїв: (1) подання користувача (a user view), (2) користувацький інтерфейс системи (an external system interface) та (3) зовнішнє подання системи (an external system view).

Побудова формалізованої моделі поведінкового UAT складається з кількох кроків: (1) виділення та специфікація сценаріїв користувачів і користувацького інтерфейсу, побудова дерев сценаріїв; (2) кожен користувацький інтерфейс визначається як скінченний автомат (FSM, finite-state machine), кожен з яких згодом об'єднується у складений скінченний автомат (CFSM), що й утворює зовнішнє подання системи; (3) перевірка тестової моделі, де всі згенеровані FSM і CFSM досліджуються з точки зору детермінованості, послідовності, правильності та повноти [4, с. 58].

Дерево сценаріїв позначене як $T(V) = (N, E, L)$ для користувача V складається з скінченних наборів вузлів N , ребер E та міток ребер L . Зокрема, кореневий вузол дерева сценаріїв, позначений $\langle S \rangle$, є сприйнятим користувачем початковим станом системи і називається початковим вузлом. Усі кінцеві вузли також позначаються як $\langle S \rangle$. Набір вузлів складається з набору станів, які сприймаються користувачем. Для кожного ребра $e \in E$, між будь-якими двома вузлами є мітка $l \in L$, пов'язана з ним, що і є типом події. Позначка $l \in L$ ребра $e \in E$ між вузлами $N1, N2 \in N$ показує, що стан системи змінився з $N1$ на $N2$ через появу типу події l [2, с. 295].

Запропонована модель надає комплексний підхід для виявлення та тестування взаємодіючих сценаріїв, що передбачає побудову матриці для набору пов'язаних FSM, а потім генерування відповідних сценаріїв.

Метою такої формалізації є використання FSM для моделювання схеми сценарію, щоб тестовий сценарій можна було аналізувати, перевіряти та генерувати систематичним способом перед проведенням UAT.

Перевагою розглянутої моделі у межах поведінкової стратегії UAT є надання можливості користувачам відповідно до вимог аналітиків визначати та генерувати тести прийняття за допомогою системного підходу. Проте реалізація моделі є доволі трудомісткою та вимагає технічних знань — *недоліки*.

Стратегія UAT на основі чорної скриньки призначена для вивчення причинно-наслідкових зв'язків між взаємодією користувача з програмним продуктом і результатом (виходом) (рис. 1). Зазвичай, UAT на основі чорної скриньки аналізує лише основні аспекти системи і не має відношення до її внутрішньої логічної структури, а тестувальник не має доступу до вихідного програмного коду [5]. Користувачам-тестувальникам пояснюють, для чого призначений продукт, але як саме він працює вони вивчають самостійно.

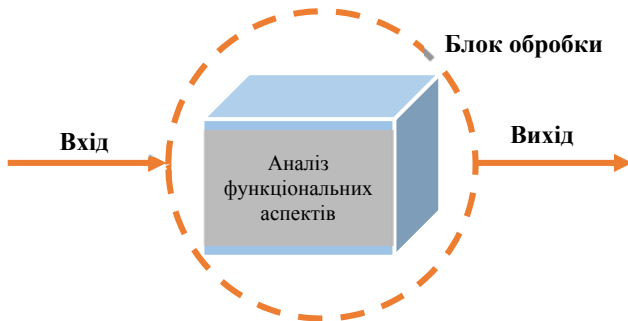


Рис. 2. Тестування за стратегією чорної скриньки

Для приймального користувацького тестування на основі чорної скриньки можна використовувати сукупність методів, які відображено на рис. 3.

1. Еквівалентне розбиття зменшує кількість тестових випадків, оскільки поділяє вхідні дані програмного блоку на розділи даних, з яких можна отримати тестові приклади.

2. Аналіз граничних значень – це метод тестування продукту на крайніх (граничних) значеннях вхідних даних. Він також включає тести, що перевіряють поведінку системи на вхідних даних, що виходять за допустимий діапазон значень.

3. Нечіткі методи тестування застосовуються для пошуку помилок реалізації при введенні деформованих / напівдеформованих даних в автоматизованому або напівавтоматизованому режимі.

4. Граф причинно-наслідкових зв'язків – це метод, за якого тестування починається зі створення графу та встановлення зв'язку між наслідком і його причинами, який описаний логічними операторами: тотожність, заперечення, логічне АБО та логічне І.

5. Тестування ортогонального масиву можна застосовувати для виявлення проблем, при яких вхідний масив даних порівняно невеликий, але занадто великий, щоб забезпечити вичерпне тестування.

6. Попарне тестування передбачає замість перевірки всіх можливих дискретних комбінацій значень усіх параметрів перевіряються тільки комбінації значень кожної пари параметрів.

7. Діаграма переходу стану аналізує поведінку системи при різних умовах входу, метод корисний для тестування стану автомату, перевірки навігації графічним інтерфейсом користувача.

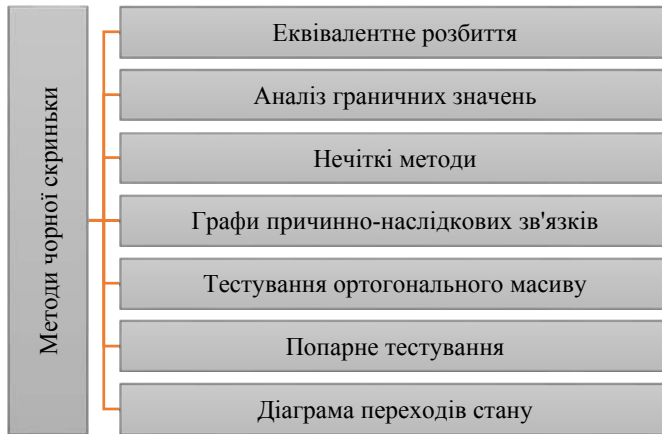


Рис. 3. Методи чорної скриньки для тестування

Тестування на основі чорної скриньки здійснюється відповідно до специфікацій функціональних або зовнішніх вимог системи. Для вибору мінімального набору тестів використовують функціональну матрицю тестів [6].

Стратегія UAT на основі чорної скриньки має низку незаперечних *переваг*: легко сприймається тестувальником; розробка тест кейсів швидка; зменшується можливість проведення неперевірених тестів; тестувальники та розробники не залежать один від одного. *Недоліками* є відсутність чітких специфікацій, що ускладнює розробку тестових прикладів; фактично виконується лише вибрана кількість тестових сценаріїв, як результат, покриття обмежене; критерії прийнятності не чітко визначені.

Стратегія тестування на основі операцій визначає ефективність реалізації процесів в ІС виходячи із використання їх різними групами користувачів. Кожен клас користувачів формує операційний профіль (ОП), що складається із сукупності процесів або операцій і частоти їх ініціації (виклику, появи) (табл. 1).

Таблиця 1

ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ В ОП

Код ОП	Ймовірність ініціації (використання) процесів			
	Процес 1	Процес 2	Процес 3	Процес 4
01	0,25	0,25	0,35	0,35
02	0,55	0,15	0,15	0,35
03	0,15	0,45	0,30	0,30

За даної стратегії обсяг тестування процесів ґрунтується на відносній частоті їх використання (ймовірність виникнення). Так, наприклад, операціям, які були ініційовані у системі нещодавно слід призначити більшу кількість випробувань [6].

Також на кількість тестів впливає критичність операцій, яка визначає ступінь тяжкості ефекту за умов виходу системи з ладу. Так критичність кожного ОП визначається окремо. Наприклад, банківська програма може мати 3 ОП користувачів: касир, супервізор і менеджер. ОП касира є найкритичнішим, керівника менш критичним, а менеджера ще найменш критичним з точки зору важливості результатів програми.

Обсяг тестування для кожного ОП пропорційний його критичній вазі:

$$C'_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^k C_i P_i} P_i ,$$

$$Q_i = C'_i Q ,$$

де C'_i — вага критичності i -го ОП, $i = \overline{1, k}$; k — загальна кількість ОП; C_i — ступінь критичності i -го ОП; P_i — ймовірність ініціації i -го ОП, Q — загальна кількість тестувань, Q_i — кількість тестувань для i -го ОП.

Приклад визначення обсягу тест кейсів на основі зваженої критичності наведено у табл. 2.

Критерієм прийняття у стратегії тестування операцій є такий — «критичних багів не виявлено, а надійність ІС на прийнятному рівні». Виділяють критерії першого та другого прийняття.

1. Критерій першого прийняття

Нехай T — набір тест кейсів, $t_i \in T$ з відображенням $s_i P s'_i$; s_i — показник входу у тест t_i ; s'_i — показник виходу застосування s_i до програми P .

Вимога відсутності критичної несправності зображується так: $\neg S_i \in C$, де C — набір неправильних критичних вихідних значень, визначених користувачем.

2. Критерій другого прийняття

(а) Надійність кожного класу ОП є прийнятною за умови: $R_i \geq \mathfrak{R}_i, \forall i$, де R_i — розрахункова надійність i -го ОП, \mathfrak{R}_i — прийнятна надійність i -го ОП.

(б) Надійність усієї системи є прийнятною за умови: $R_0 \geq \mathfrak{R}_0$, де R_0 — передбачувана розрахункова надійність інформаційної системи, \mathfrak{R}_0 — прийнятна надійність системи.

Таблиця 2

ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ОБСЯГУ ТЕСТУВАННЯ

Код ОП, i	Ступінь критичності, C_i	Ймовірність ініціації, P_i	$C_i P_i$	Вага критичності, C'_i	Кількість тест кейсів
1	1	0,25	0,25	0,097	5
2	4	0,35	1,40	0,538	27
3	3	0,15	0,45	0,173	8
4	2	0,25	0,50	0,192	10
Всього		100	2,6	1	50

Після проведення розрахунків виносяться рішення щодо прийняття системи, усунення багів та приведення у відповідність до вимог. Замовник може відмовитися від прийняття через вагомий дефект як у всій системі, так і в окремих ОП (табл. 3).

Таблиця 3

ПРИКЛАД ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ПРИЙНЯТТЯ ІС

Варіант	$R_i \geq \mathfrak{R}_i, \forall i$	$R_0 \geq \mathfrak{R}_0$	Рішення щодо прийняття
1	Помилка не виявлено		Прийняти
2	Так	Так	Попереднє приймання
3	Ні	Так	Умовне приймання
4	Так	Ні	Перероблення
5	Ні	Ні	Відмова

Перевагами застосування стратегії УАТ на основі операцій є те, що вибір і формування тест кейсів здійснюється для кожного

операційного профілю, а критерії прийнятності чітко визначені. Проте стратегія не позбавлена *недоліків*, її реалізація вимагає проведення додаткового аналізу перед початком тестування, оскільки необхідно виділити різні операційні профілі, а визначення обсягу тестування займає додатковий час.

Порівняльний аналіз стратегій UAT, в основу яких покладено розглянуті моделі, наведено у табл. 4.

Таблиця 4

ПОРІВНЯННЯ СТРАТЕГІЙ UAT

Критерії	Поведінкове UAT на основі сценаріїв	UAT на основі чорної скриньки	UAT на основі операцій
Підхід до тесту	Аналіз сценаріїв, метод скінченних автоматів	Ґрунтується на зовнішньому функціоналі	Створюються тест кейси для кожного ОП користувача. Тести ґрунтуються на ймовірності ініціації операцій
Основа тесту	Специфікація системи	Вимоги користувачів, процедурні інструкції	Вимоги користувачів
Критерії прийняття	Не визначено	Не знайдено головних проблем	Не лишилось критичних багів. Прийнятна надійність
Залученість користувачів	Обмежена	Середня	Середня
Усунення багів	Не визначено	Список помилок	Чітко визначено процедуру
Сильні сторони	Враховує поведінку та містить сценарії	Операційні процедури включені у тестування	Критерії прийняття чітко визначені
Слабкі сторони	Трудомісткий процес, вимагає технічних знань	Відсутність критеріїв прийняття	Попередній аналіз

З огляду на критерії порівняння (табл. 4) опис стратегії UAT на основі операцій є найповнішим. Розроблені моделі для визначення пріоритетних ОП, обсягу тестування кожного ОП та критеріїв прийняття ОП і системи можуть з легкістю використовуватися на практиці. Безумовно, реалізація такої стратегії значно підвищить ефективність тестування та забезпечить отримання якісного програмного продукту.

Висновки. Багато в чому UAT є одним з найбільш критичних і ризикованих етапів будь-якого ІТ-проєкту. Воно поєднує в собі всі елементи бізнес-процесів у єдину дієву та вимірювану діяльність, яка не тільки гарантує, що користувачі отримають програмний продукт, який задовольнить їхні реальні вимоги, але й забезпечить економічні вигоди бізнесу та успішність ключовим зацікавленим сторонам проєкту.

Слід зазначити, що наразі не існує певного уніфікованого підходу до вибору стратегії UAT або єдиної методології тестування у межах обраної стратегії. Такі рішення приймаються індивідуально, зважаючи на: (1) специфіку кожного окремого проєкту розробки інформаційної системи; (2) рівень кваліфікації тестувальників та команди із забезпечення якості програмного продукту; (3) рівень мотивації зацікавлених сторін; (4) загальний рівень культури проєктного менеджменту.

Вважаємо за доцільне при виборі стратегії UAT та розробці методології тестування використовувати методи системного аналізу та включати у модель оцінювання ризиків, визначення елементів системи, операцій і бізнес-процесів, які найсхильніші до їх впливу, та кількісного визначення наслідків через допущені помилки. Це дозволить ефективно розподілити ресурси та зосередитися на елементах системи, дефекти в яких матимуть найбільший вплив на результат ІТ-проєкту.

Бібліографічні посилання

1. Acceptance Tests In Practice — Behavior Driven Development. URL: <https://blog.rapid7.com/2015/02/22/acceptance-tests-in-practice-behavior-driven-development/>.

2. Hsia P., Gao J., Samuel J., Kung D., Toyoshima Y. and Chen C. Behavior-based acceptance testing of software systems: a formal scenario approach. *Proceedings of the 18th Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*. 1994. URL: <https://info.computer.org/csdl/pds/api/csdl/proceedings/download-article/12OmNwHQB2o/pdf>.

3. Hsia P., Kung D. Software Requirements and Acceptance Testing. *Annals of Software Engineering*. 1997. Vol. 3. P. 291–317.

4. Hsia P., Samuel J., Kung D., Li L., Hsu C.T., Chen C., Toyoshima Y. A Usage-Model Based Approach to Test Therac-25. *IFAC Proceedings Volumes*. 1995. Vol. 28. Issue 25. P. 55–63.

5. Khan M.E., Khan F. A Comparative Study of White Box, Black Box and Grey Box Testing Techniques. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2012. Vol. 3. № 6. P. 12–15.

6. Leung Hareton K.N., Wong Peter W.L. A Study of User Acceptance Tests. *Software Quality Journal*. 1997. Vol. 6. P. 137-149.

7. Pandit P., Tahiliani S. AgileUAT: A Framework for User Acceptance Testing based on User Stories and Acceptance Criteria. *International Journal of Computer Applications*. 2018. Vol. 120. № 10. P. 16–21.

8. The Standish Group International. Rule of ten. URL: https://www.standishgroup.com/sample_research_files/RuleTen.pdf.

9. What Is User Story And Acceptance Criteria (Examples). URL: <https://www.softwaretestinghelp.com/user-story-acceptance-criteria/>.

10. Пышкин Е.В. Проблемы автоматизации приемочного тестирования программного обеспечения при использовании подхода «разработка, управляемая описанием поведения». *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление*. 2012. №6 (162). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-avtomatizatsii-priemochno-go-testirovaniya-programmnogo-obespecheniya-pri-ispolzovanii-podhoda-razrabotka-upravlyayemaya>.

Статтю подано до редакції 05.11.2020

УДК:519.218

DOI 10.33111/mise.100.10

Круглова Н. В., к.ф.-м.н., доцент,
кафедра математичного аналізу та теорії ймовірностей,
Диховичний О. О., к.ф.-м.н., доцент,
кафедра математичного аналізу та теорії ймовірностей
Дем'яненко О. О., к.ф.-м.н., доцент,
кафедра математичного аналізу та теорії ймовірностей,
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Kruglova N. V., PhD (physical and mathematical sciences),
Associated professor of Mathematical analysis and
Probability Theory Department

Dykhovychnyi O. O., PhD (physical and mathematical sciences),
Associated professor of Mathematical analysis and
Probability Theory Department

Demianenko O. O., PhD (physical and mathematical sciences),
Associated professor of Mathematical analysis and
Probability Theory Department
NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**ПРО ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ
ЗВУЖЕННЯ БРОУНІВСЬКОГО ЛИСТА
НА ЧАСТИНУ КОЛА В ПРОСТОРИ H_{SP}**

**ON ESTIMATES OF MODELING ACCURACY
FOR BROWNIAN SHEET'S RESTRICTION
ON THE PART OF A CIRCLE IN SPACE H_{SP}**

Анотація. У роботі узагальнено результати, отримані у роботах Параньяпа, Парка, Клесова, Круглової, Диховичного (Paranjape, Park, Klesov, Kruglova, Dykhovychnyi). Зокрема, знайдено найбільш точну апроксимацію розподілу максимуму звуження (restriction) поля Ченцова (Chentsov field, Brownian sheet в англомовній літературі) на частину кола. Потреба у розгляді подібних задач пов'язана із дослідженням таких фізичних явищ, як перколяція (percolation) (протікання) та фільтрація (filtration). Оскільки знаходження точного розподілу вказаного максимуму є проблематичним, авторами запропоновано розв'язання цієї задачі шляхом чисельного моделювання (simulation) відповідного випадкового процесу. Для цього у статті розроблено новий алгоритм моделювання гауссівського процесу $Y(t)$ з нульовим математичним сподіванням і коваріаційною функцією спеціального виду: $E[Y(s)Y(t)] = u(\min\{s,t\})v(\max\{s,t\})$, $s, t \in [0, 1]$. Цей алгоритм має високу швидкість (high speed), потрібність у якій зумовлена великою кількістю точок розбиття траєкторії процесу. Доведено, що усі моменти, а, отже, й скінченновимірні (finite-dimensional) розподіли змодельованого процесу збігаються до відповідних характеристик процесу $Y(t)$. Запропоновано новий спосіб параметризації звуження поля Ченцова на чверть кола. На підставі цього способу параметризації процесу $Y(t)$ новий алгоритм моделювання застосовано для моделювання звуження поля Ченцова на частину кола. Знайдено асимптотику похибки моделювання у просторі H_{SP} . Доведено, що норма похибки у просторі H_{SP} спадає як $O(1/\sqrt{N})$, де N — кількість точок моделювання. Для перевірки якості алгоритму проведено порівняння емпіричних оцінок основних статистичних характеристик змодельованого й теоретичного процесів, та підтверджено їхній збіг. Для змодельованого процесу знайдено емпіричний розподіл максимуму процесу, для якого підбрано найближчий теоретичний розподіл. Як найприйнятніший розподіл обрано розподіл Вейбулла (Weibull), що підтверджено критерієм Колмогорова, а також Q-Q та P-P діаграмами. Моделювання виконано в середовищі програмування R.

Ключові слова: Броунівський лист; поле Ченцова; випадкове поле; перколяція; гауссівський процес; розподіл максимуму; моделювання; мова R.

Annotation. In this paper, we generalize the results obtained by Paranjape, Park, Klesov, Kruglova, Dykhovychnyi. In particular, we find the most precise approximation of the distribution of the maximum of Chentsov field (Brownian sheet) restricted to a part of a circle. The need for such an approximation comes from modeling physical phenomena like percolation and filtration. Since finding the exact distribution is problematic, we propose a numerical solution to the problem by performing a simulation of the corresponding stochastic process. For this purpose, we develop a novel algorithm to model a Gaussian process $Y(t)$ with zero mean and the special covariance function $E[Y(s)Y(t)] = u(\min\{s,t\})v(\max\{s,t\})$, $s, t \in [0, 1]$. The proposed algorithm has high computational efficiency, which is crucial when the number of points partitioning the process's trajectory is large. We prove that all moments as well as finite-dimensional distributions of the modeled process converge to the corresponding characteristics of the process $Y(t)$. We propose a new way to parameterize a Chentsov field on a quarter of a circle. This parameterization of the process $Y(t)$ is utilized to model a restriction of the Chentsov field on a part of a circle. Also, we determine asymptotic behavior of the model error in H_{SP} space. We prove that the norm of the error in this space is $O(1/\sqrt{N})$, where N is the number of modeled points. We verify the proposed algorithm's correctness by comparing obtained empirical estimates of the distribution of maximum with the theoretical ones and show that they coincide. We obtain an empirical distribution of maximum of the modeled process and find its best theoretical approximation, which turns out to be the Weibull distribution. This is verified with Kolmogorov

criterion as well as Q-Q and P-P diagrams. All simulations are performed in R statistical computing environment.

Key words: *Brownian sheet; Chentsov field; random field; percolation; Gaussian process; distribution of the maximum; simulation; R language.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. У різноманітних теоретичних і прикладних задачах часто виникає необхідність знаходити розподіли функціоналів від гауссівських процесів і полів. Для випадкових полів актуальною є задача знаходження точних розподілів функціоналів типу максимуму звуження полів на множини розмірності меншої розмірності поля. У загальному вигляді для броунівського листа ця задача ще не є розв'язаною. Лише для певних частинних випадків звуження броунівського листа на криві можна знайти точні розподіли максимуму.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. С. Парк і С. Праньяп [1], І.І. Клесов [2] дослідили задачу знаходження максимуму двовимірного броунівського листа на ламані з однією точкою злому, а О.І. Клесов і Н.В. Круглова [3] отримали аналогічний результат для ламаних з кількома точками злому.

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. Оскільки точних виразів для розподілів максимумів від гауссівських процесів у загальному випадку немає, то можливим способом знаходження таких розподілів є, на думку авторів, моделювання відповідних гауссівських процесів. Як засіб розв'язання цієї проблеми в [4, 5] запропоновано комп'ютерне моделювання траєкторії випадкового процесу, який є відповідним звуженням поля на ламані лінії. Для моделювання в [4] було розроблено відповідний алгоритм, який ґрунтується на спеціальному вигляді коваріаційної функції досліджуваного процесу та перетворенні Дуба [6]. За змодельованим процесом можна знайти емпіричний розподіл максимуму й підібрати найближчий ймовірнісний розподіл.

Формулювання цілей. Побудова алгоритму істотно залежить від конкретного вигляду кривої та способу параметризації. У даній роботі запропонована нова параметризація, а, отже, й новий алгоритм моделювання. У зв'язку з цим постає актуальне питання збіжності змодельованого процесу до теоретичного, а також точності наближення. При цьому актуальним є порівняння теоретичних та емпіричних характеристик змодельованого та теоретичного процесів, а саме, середнього та коваріаційної функції.

Викладення основного матеріалу досліджень

1. Теоретичні відомості. Скористаємось означенням [7]. Відмітимо, що в літературі можна зустріти ще одну назву для двовимірного броунівського листа — поле Ченцова.

Означення 1. Гауссівське дійсне сепарабельне поле $X(s, t)$ буде двовимірним броунівським листом, якщо воно задовольняє такі умови:

1. $X(0, t) = X(s, 0) = 0$ для $\forall s, t \in [0, 1]$;
2. $E[X(s, t)] = 0$ для $\forall (s, t) \in [0, 1]^2$;
3. $E[X(s_1, t_1)X(s_2, t_2)] = \min\{s_1, s_2\} \min\{t_1, t_2\}$ для всіх (s_1, t_1) і $(s_2, t_2) \in [0, 1]^2$.

Означення 2. Позначимо H_{SP} [8] Гільбертів простір випадкових процесів $x(t), t \in [0, K]$ з нормою $\|x(t)\|_{SP} = \sqrt{\int_0^K E[x^2(t)] dt}$.

Лема (Перетворення Дуба) [6]. Нехай гауссівський процес $Y(t)$ з нульовим математичним сподіванням має таку коваріаційну функцію: $R_Y(s, t) = E[Y(s)Y(t)] = u(s)v(t)$, $s \leq t$, що функція $\frac{u(t)}{v(t)}$ зростає та неперервна, тоді процеси $Y \left(u \left(\left(\frac{u(t)}{v(t)} \right)^{-1} \right) \right) / v \left(\left(\frac{u(t)}{v(t)} \right)^{-1} \right)$ і ві-

нерівський процес — стохастично еквівалентні.

2. Побудова моделі процесу. Нехай задано гауссівський процес $Y(t), t \in [0, 1]$, з $E[Y(t)] = 0, t \in [0, 1]$, і коваріаційною функцією $R_Y(s, t) = u(s)v(t)$, $s \leq t$, $s, t \in [0, 1]$, де $u(\cdot)$ — неперервна зростаюча функція, $v(\cdot)$ — неперервна спадна функція. Використавши перетворення Дуба [6], можна стверджувати, що процес $Y(t)$ і процес $v(t) w \left(\frac{u(t)}{v(t)} \right)$ стохастично еквівалентні.

Розіб'ємо інтервал $[0, 1]$ на N рівних частин.

Введемо позначення: $a(t) = \frac{u(t)}{v(t)}$, $t_n^N = \frac{n}{N}$, $n = \overline{1, N-1}$.

$$S_N(t_n^N) = v(t_n^N) \sum_{i=1}^n \xi_i \sqrt{a(t_i^N) - a(t_{i-1}^N)},$$

де $\xi_i, i = \overline{1, N-1}$, — незалежні однаково розподілені стандартні гауссівські величини.

Теорема 1. Нехай дано процес $Y(t)$, описаний вище. Введемо процес

$$S_N(t) = S_N(t_n^N), t \in [t_n^N, t_{n+1}^N), n = \overline{1, N-1}. \quad (1)$$

Тоді процес $S_N(t)$ збігається за розподілом до процесу $Y(t)$ на $[0, 1]$. **Доведення.**

Знайдемо математичне сподівання, дисперсію і коваріаційну функцію процесу $S_N(t)$.

$$\begin{aligned} E[S_N(t)] &= E\left[v(t_n^N) \sum_{i=1}^n \xi_i \sqrt{a(t_i^N) - a(t_{i-1}^N)}\right] = \\ &= v(t_n^N) \sum_{i=1}^n \sqrt{a(t_i^N) - a(t_{i-1}^N)} E[\xi_i] = 0, \\ &t \in [t_n^N, t_{n+1}^N), n = \overline{1, N-1}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E[S_N^2(t)] &= E\left[\left(v\left(\frac{[Nt]}{N}\right) \sum_{i=1}^{[Nt]} \xi_i \sqrt{a(t_i^N) - a(t_{i-1}^N)}\right)^2\right] = \\ &= v^2\left(\frac{[Nt]}{N}\right) \sum_{i=1}^{[Nt]} (a(t_i^N) - a(t_{i-1}^N)) E[\xi_i^2] = \\ &= v^2\left(\frac{[Nt]}{N}\right) \cdot \frac{u\left(\frac{[Nt]}{N}\right)}{v\left(\frac{[Nt]}{N}\right)} = u\left(\frac{[Nt]}{N}\right) v\left(\frac{[Nt]}{N}\right). \end{aligned}$$

Оскільки $u(\cdot)$ — неперервна зростаюча функція, $v(\cdot)$ — неперервна спадна функція, то

$$f_N(t, t) = u\left(\frac{Nt}{N}\right) v\left(\frac{(N+1)t}{N}\right) < u\left(\frac{[Nt]}{N}\right) v\left(\frac{[Nt]}{N}\right) < g_N(t, t),$$

$$g_N(t, t) = u\left(\frac{(N+1)t}{N}\right) v\left(\frac{Nt}{N}\right).$$

Очевидно, що $\lim_{N \rightarrow \infty} f_N(t, t) = \lim_{N \rightarrow \infty} g_N(t, t) = u(t)v(t)$.

Тоді $u\left(\frac{[Nt]}{N}\right)v\left(\frac{[Nt]}{N}\right) \xrightarrow{N \rightarrow \infty} u(t)v(t) = R_Y(t, t)$.

Нехай $s \in [t_k^N, t_{k+1}^N), t \in [t_n^N, t_{n+1}^N), k \leq n$.

$$\begin{aligned}
 & E[S_N(s)S_N(t)] = \\
 & = E\left[\left(v\left(\frac{[Ns]}{N}\right)\sum_{i=1}^{[Ns]}\xi_i\sqrt{a(t_i^N)-a(t_{i-1}^N)}\right) \times \right. \\
 & \left. \times \left(v\left(\frac{[Nt]}{N}\right)\sum_{j=1}^{[Nt]}\xi_j\sqrt{a(t_j^N)-a(t_{j-1}^N)}\right)\right] = \\
 & = v\left(\frac{[Ns]}{N}\right)v\left(\frac{[Nt]}{N}\right)\sum_{i=1}^{[Ns]}\left(a(t_i^N)-a(t_{i-1}^N)\right)E[\xi_i^2] = \\
 & = v\left(\frac{[Ns]}{N}\right)v\left(\frac{[Nt]}{N}\right)\cdot\frac{u\left(\frac{[Ns]}{N}\right)}{v\left(\frac{[Ns]}{N}\right)} = u\left(\frac{[Ns]}{N}\right)v\left(\frac{[Nt]}{N}\right). \\
 & f_N(s, t) = u\left(\frac{Ns}{N}\right)v\left(\frac{(N+1)t}{N}\right) < u\left(\frac{[Ns]}{N}\right)v\left(\frac{[Nt]}{N}\right) < g_N(s, t), \\
 & g_N(s, t) = u\left(\frac{(N+1)s}{N}\right)v\left(\frac{Nt}{N}\right).
 \end{aligned}$$

Очевидно, що $\lim_{N \rightarrow \infty} f_N(s, t) = \lim_{N \rightarrow \infty} g_N(s, t) = u(s)v(t)$.

Тоді $u\left(\frac{[Ns]}{N}\right)v\left(\frac{[Nt]}{N}\right) \xrightarrow{N \rightarrow \infty} u(s)v(t) = R_Y(s, t)$.

Отже, математичне сподівання, дисперсія, коваріаційна функція процесу $S_N(t)$ збігаються до відповідних характеристик процесу $Y(t)$. Тоді, в силу гасовості процесів, скінченновимірні розподіли $S_N(t)$ слабо збігаються до відповідних розподілів процесу $Y(t)$.

3. Моделювання звуження броунівського листа на криві. Розглянемо звуження поля Ченцова на чверть кола. Змоделюємо даний процес за допомогою алгоритму, описаному в [4]. Але для більшої точності моделювання введемо нову параметризацію кривої, на яку звужуємо процес.

$$L = \left\{ (x, y) \mid x = \cos t, y = \sin t, t \in \left[0, \frac{\pi}{2} \right] \right\}. \quad (2)$$

Тоді процес $X_t = X(\cos t, \sin t)$, буде звуженням двопараметричного броунівського листа на криву L . Згідно перетворення Дуба [6] процес $Y(t) = \cos tw(tgt)$ буде стохастично еквівалентний процесу X_L .

Згідно алгоритму, описаному вище, для процесу X_t , побудуємо модель. Перепишемо (1) у термінах індикаторів відповідно до вигляду кривої:

$$S_N(t) = \sum_{n=1}^{N-1} v(t_n^N) \sum_{i=1}^n \xi_i \sqrt{a(t_i^N) - a(t_{i-1}^N)} I_{[t_n^N, t_{n+1}^N)}(t), \quad (3)$$

де $v(t) = \cos t$, $u(t) = \sin t$, $a(t) = \frac{u(t)}{v(t)} = tgt$.

Теорема 2. Нехай $X_L(t)$ — звуженням двопараметричного броунівського листа на криву L , задану рівнянням (2).

$S_N(t)$ — модель процесу $X_L(t)$, задана формулою (3). Тоді

$$\|X_L(t) - S_N(t)\|_{SP} = \frac{\pi}{\sqrt{2N}} + o\left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right).$$

Доведення.

$$\begin{aligned} \|X_L(t) - S_N(t)\|_{SP}^2 &= \int_0^{\pi/2} E \left[(X_L(t) - S_N(t))^2 \right] dt = \\ &= \sum_{i=1}^N \int_{t_{i-1}}^{t_i} E (v(t)w(a(t)) - v(t_{i-1})w(a(t_{i-1})))^2 dt = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{i=1}^N \int_{t_{i-1}}^{t_i} E \left(v(t)w(a(t)) - v(t_{i-1})w(a(t)) + v(t_{i-1})w(a(t)) - \right. \\
&\quad \left. - v(t_{i-1})w(a(t_{i-1})) \right)^2 dt = \\
&= \sum_{i=1}^N \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left((v(t) - v(t_{i-1}))^2 a(t) + 2(v(t) - v(t_{i-1}))v(t_{i-1})(a(t) - a(t_{i-1})) + \right. \\
&\quad \left. + v^2(t_{i-1})(a(t) - a(t_{i-1})) \right) dt = \sum_{i=1}^N \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left((v^2(t) - 2v(t)v(t_{i-1}) + v^2(t_{i-1}))a(t) + \right. \\
&\quad \left. + 2v(t)v(t_{i-1})a(t) - 2v^2(t_{i-1})a(t) - 2v(t)v(t_{i-1})a(t_{i-1}) + 2v^2(t_{i-1})a(t_{i-1}) + \right. \\
&\quad \left. + v^2(t_{i-1})a(t) - v^2(t_{i-1})a(t_{i-1}) \right) = \\
&= \sum_{i=1}^N \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left(v^2(t)a(t) + v^2(t_{i-1})a(t_{i-1}) - 2v(t_{i-1})v(t)a(t_{i-1}) \right) dt = \\
&= \sum_{i=1}^N \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left(v(t)u(t) + v(t_{i-1})u(t_{i-1}) - 2v(t)u(t_{i-1}) \right) dt = \\
&= \sum_{i=1}^N \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left(\frac{1}{2} \sin 2t + \frac{1}{2} \sin 2t_{i-1} - 2 \cos t \sin t_{i-1} \right) dt = \\
&= \sum_{i=1}^N \left(-\frac{1}{4} \cos 2t + \frac{t}{2} \sin \frac{2\pi(i-1)}{2N} - 2 \sin t \sin \frac{\pi(i-1)}{2N} \right) \Bigg|_{\frac{\pi(i-1)}{2N}}^{\frac{\pi i}{2N}} = \\
&= \sum_{i=1}^N \left(-\frac{1}{4} \cos \frac{\pi i}{N} + \frac{1}{4} \cos \frac{\pi(i-1)}{N} + \frac{\pi}{4N} \sin \frac{\pi(i-1)}{N} - \right. \\
&\quad \left. - 2 \sin \frac{\pi(i-1)}{2N} \sin \frac{\pi(i-1)}{2N} + 2 \sin^2 \frac{\pi(i-1)}{2N} \right).
\end{aligned}$$

Розіб'ємо останню суму на 4 частини. І порахуємо їх окремо.

$$1) \sum_{i=1}^N \left(-\frac{1}{4} \cos \frac{\pi i}{N} + \frac{1}{4} \cos \frac{\pi(i-1)}{N} \right) = \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \cos \frac{\pi}{N} + \frac{1}{4} \cos \frac{\pi}{N} - \frac{1}{4} \cos \pi = \frac{1}{2}.$$

$$2) \frac{\pi}{4N} \sum_{i=1}^N \sin \frac{\pi(i-1)}{N} = \frac{\pi}{4N} \frac{\sin \frac{\pi}{2N}}{\sin \frac{\pi}{2N}} \sum_{i=1}^{N-1} \sin \frac{\pi i}{N} =$$

$$= \frac{\pi}{8N \sin \frac{\pi}{2N}} \left(\cos \frac{\pi}{2N} - \cos \frac{3\pi}{2N} + \cos \frac{3\pi}{2N} - \cos \frac{5\pi}{2N} + \dots + \cos \frac{(2N-3)\pi}{2N} - \right.$$

$$\left. - \cos \frac{(2N-1)\pi}{2N} \right) = \frac{\pi}{8N \sin \frac{\pi}{2N}} \left(\cos \frac{\pi}{2N} - \cos \frac{(2N-1)\pi}{2N} \right) = \frac{\pi}{4N} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{2N}.$$

$$3) A = -2 \sum_{i=1}^N \sin \frac{\pi(i-1)}{N} \sin \frac{\pi i}{N} = -2 \sum_{i=2}^N \sin \frac{\pi(i-1)}{N} \sin \frac{\pi i}{N} =$$

$$= \sum_{i=2}^N \left(\cos \frac{\pi(2i-1)}{2N} - \cos \frac{\pi}{2N} \right)$$

$$a) -\sum_{i=2}^N \cos \frac{\pi}{2N} = -(N-1) \cos \frac{\pi}{2N}.$$

$$b) B = \cos \frac{\pi}{2N} + \cos \frac{2\pi}{2N} + \dots + \cos \frac{(2N-1)\pi}{2N} =$$

$$= \frac{1}{2 \sin \frac{\pi}{4N}} \left(-\sin \frac{\pi}{4N} + \sin \frac{3\pi}{4N} - \sin \frac{3\pi}{4N} + \dots + \sin \frac{(4N-1)\pi}{4N} \right) =$$

$$= \frac{1}{2 \sin \frac{\pi}{4N}} \left(-\sin \frac{\pi}{4N} + \sin \frac{\pi}{4N} \right) = 0.$$

$$C = \cos \frac{2\pi}{2N} + \cos \frac{4\pi}{2N} + \dots + \cos \frac{(2N-2)\pi}{2N} =$$

$$= \cos \frac{\pi}{N} + \cos \frac{2\pi}{N} + \dots + \cos \frac{(N-1)\pi}{N} =$$

$$= \frac{1}{2 \sin \frac{\pi}{2N}} \left(-\sin \frac{\pi}{2N} + \sin \frac{3\pi}{2N} - \sin \frac{3\pi}{2N} + \dots + \sin \frac{(2N-1)\pi}{2N} \right) = 0.$$

$$\sum_{i=2}^N \cos \frac{\pi(2i-1)}{2N} = B - C - \cos \frac{\pi}{2N} = -\cos \frac{\pi}{2N}.$$

$$A = -\cos \frac{\pi}{2N} - (N-1) \cos \frac{\pi}{2N} = -N \cos \frac{\pi}{2N}.$$

$$4) \sum_{i=1}^N 2 \sin^2 \frac{\pi(i-1)}{2N} = \sum_{i=1}^{N-1} \left(1 - \cos \frac{\pi i}{N} \right) = N-1 - \sum_{i=1}^{N-1} \cos \frac{\pi i}{N} = N-1.$$

$$\int_0^{\pi/2} E \left[(Y(t) - S_N(t))^2 \right] dt = \frac{1}{2} + \frac{\pi}{4N} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{2N} - N \cos \frac{\pi}{2N} + N-1.$$

$$N - N \cos \frac{\pi}{2N} \underset{N \rightarrow \infty}{\square} N \cdot \frac{\pi^2}{2N^2} = \frac{\pi^2}{2N}.$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\left(\frac{\pi}{4N} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{2N} - \frac{1}{2} \right)}{\left(\frac{1}{N} \right)^k} = \left| \frac{\pi}{2N} = x \right| = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{x}{\operatorname{tg} x} - 1 \right)}{\left(\frac{2}{\pi} x \right)^k} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\pi^k (x - \operatorname{tg} x)}{2^{k+1} x^{k+1}} =$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\pi^k \left(1 - \frac{1}{\cos^2 x} \right)}{2^{k+1} (k+1) x^k} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\pi^k \left(\frac{-\sin^2 x}{\cos^2 x} \right)}{2^{k+1} (k+1) x^k} = -\frac{\pi^2}{24}, k=2.$$

$$\text{Отже, } \|X_L(t) - S_N\|_{SP} = \frac{\pi}{\sqrt{2N}} + o\left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right).$$

4. Перевірка якості моделювання. Перевіримо коректність проведеного моделювання. Для цього знайдемо емпіричні оцінки математичного сподівання, дисперсії і коваріаційної функції даного процесу. Побудуємо теоретичні і емпіричні характеристики процесу.

У [5] як приклад роботи алгоритму розглядалася крива (2), але в іншій параметризації:

$$L = \left\{ (x, y) \mid y = \sqrt{1 - x^2}, x \in [0, 1] \right\}. \quad (4)$$

Змоделюємо 10000 реалізацій процесу, використовуючи цю параметризацію і середовище R [9]. Побудуємо графіки для математичного сподівання, дисперсійної функції моделі і процесу (рис. 1 і 2).

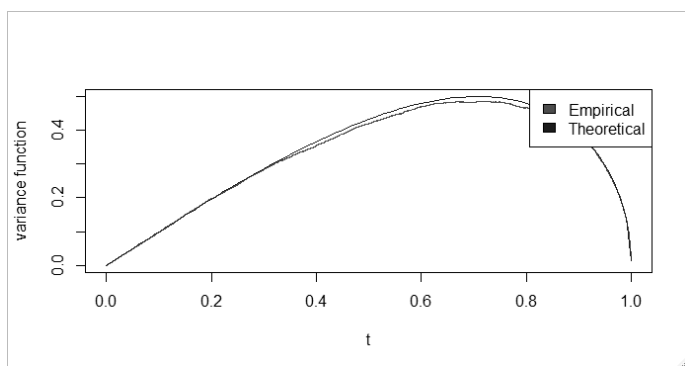


Рис. 1. Дисперсії процесу

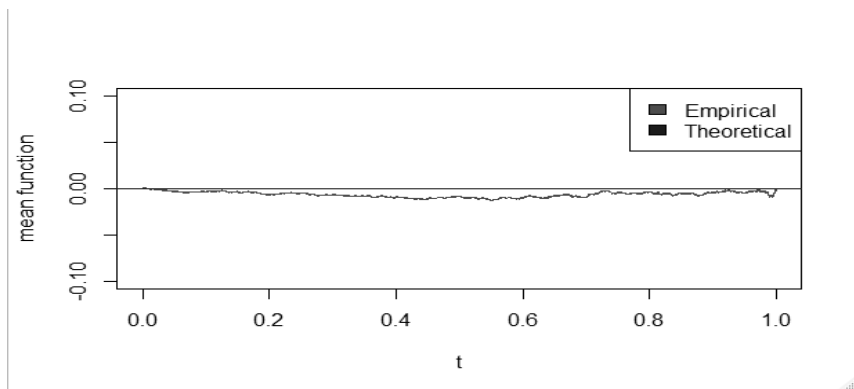


Рис. 2. Математичні сподівання

Прог.1. Фрагмент коду в середовищі R.

```
mt<-numeric(10^4)
dt<-numeric(10^4)
x<-numeric(10^8)
a<-matrix(x,nrow=10^4)
t<-seq(0,1-1/10000,length.out=10000)
vt<-sqrt(1-t^2)
at<-t/sqrt(1-t^2)
D<-diff(at)
for(i in 1:10^4){
  a[i,]<-vt*c(0,cumsum(rnorm(9999,0,sqrt(D))))
}
mt<-colMeans(a)
plot(t,mt,col="red",type="l",xlab="t",ylab="mean
function",ylim=c(-0.1,0.1))
abline(a=0,b=0,col="blue")
legend("topright", c("Empirical",
"Theoretical"),fill=c("red","blue"))
mtm<-matrix(rep(mt,10^4),nrow=10^4,byrow=T)
Dt<-colMeans((a)^2)
plot(t,Dt,col="red",type="l",xlab="t",ylab="variance func-
tion" ylim=c(0,0.5))
curve(t*sqrt(1-t^2),col="blue",add=T,xname="t")
legend("topright", c("Empirical",
"Theoretical"),fill=c("red","blue"))
```

Тепер змодельємо процес, змінивши параметризацію кривої згідно рівняння (2) (рис 3 і 4).

Прог.2.

```
mt<-numeric(10^4)
dt<-numeric(10^4)
x<-numeric(10^8)
a<-matrix(x,nrow=10^4)
t<-seq(0,pi/2-pi/20000,length.out=10000)
vt<-cos(t)
at<-tan(t)
D<-diff(at)
for(i in 1:10^4){
  a[i,]<-vt*c(0,cumsum(rnorm(9999,0,sqrt(D))))
}
mt<-colMeans(a)
plot(t,mt,col="red",type="l",xlab="t",ylab="mean
function",ylim=c(-0.1,0.1))
abline(a=0,b=0,col="blue")
legend("topright", c("Empirical",
"Theoretical"),fill=c("red","blue"))
mtm<-matrix(rep(mt,10^4),nrow=10^4,byrow=T)
Dt<-colMeans((a)^2)
plot(t,Dt,col="red",type="l",xlab="t", ylab="variance
function",ylim=c(0,0.5))
curve(sin(2*t)/2,col="blue",add=T,xname="t")
legend("topright", c("Empirical",
"Theoretical"),fill=c("red","blue"))
```

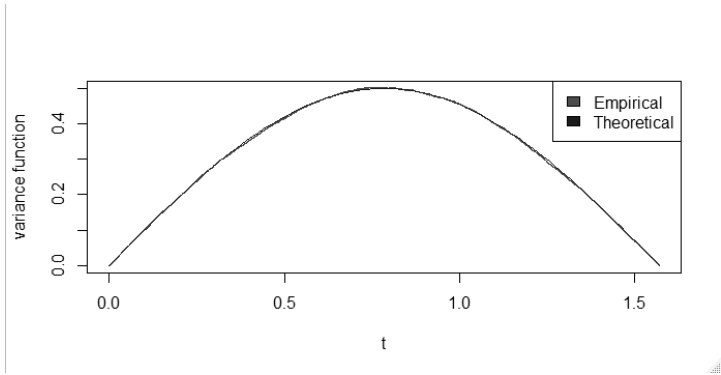


Рис. 3. Дисперсії процесу

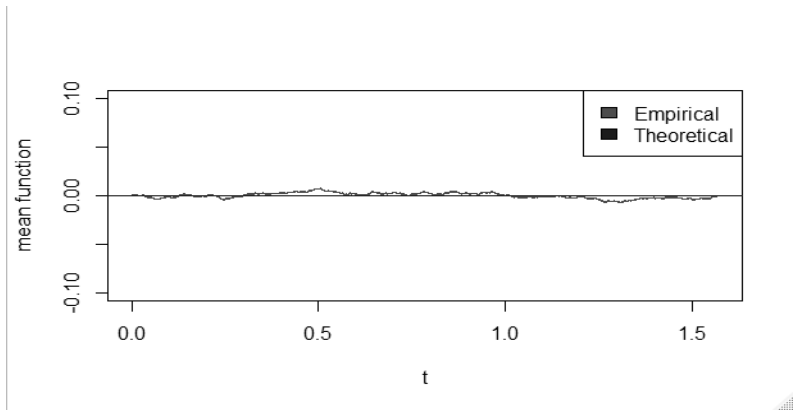


Рис. 4. Математичні сподівання

Як видно з побудованих графіків, емпіричні оцінки середнього і дисперсії змодельованого процесу практично співпадають з теоретичними.

5. Знаходження розподілу максимуму. Знайдемо емпіричний розподіл максимуму від змодельованого процесу. Для цього змодельюємо процес і визначимо вибірки з його максимумів. Порівняємо емпіричний розподіл максимуму з розподілами Вейбула, Гумбеля, Фреше на основі побудови гістограми, емпіричної функції розподілу та з використанням Р-Р, Q-Q діаграм і критерію Колмогорова-Смірнова. Проаналізувавши графіки в емпіричних функцій розподілу гістограм, а також Р-Р, Q-Q діаграми, найприйнятнішим виявився розподіл Вейбулла з параметрами:

shape=1.7636305, scale=0.8793867, що й підтверджено тестом Колмогорова-Смирнова (p-value =**0.6542**). На рис. 5 зображено результати для розподілу Вейбула, який ми можемо прийняти за теоретичний розподіл максимуму зруження брунівського листа на чверть кола.

Зауважимо, що це узгоджується з результатами, представленими в [10].

Прог. 3.

```
Ma<-numeric(10^4)
t<-seq(0,pi/2-1/1000,length.out=1000)
vt<-cos(t)
at<-tan(t)
D<-diff(at)
for(i in 1:10^4){
  y<-vt*c(0,cumsum(rnorm(999,0,sqrt(D))))
  Ma[i]<-max(y)
}
library(fitdistrplus)
ocinka<-mledist(Ma[Ma>0],"weibull",lower = c(0, 0))
plotdist(Ma[Ma>0], "weibull",
para=list(shape=ocinka$estimate[1],
scale=ocinka$estimate[2]))
ks.test(unique(Ma[Ma>0]), "pweibull", shape=ocinka$estimate
[1], scale=ocinka$estimate[2])
```

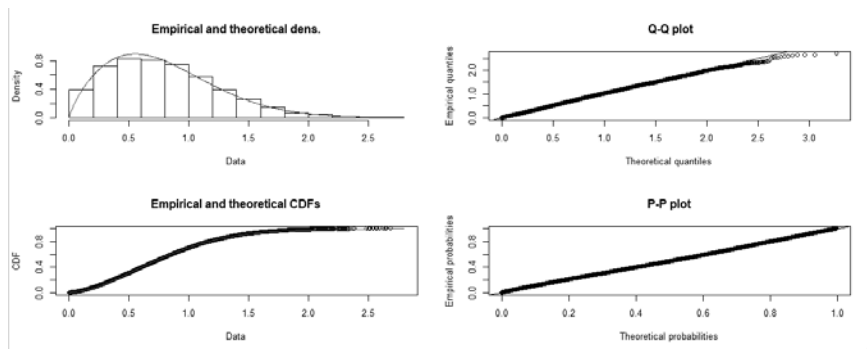


Рис. 5. Розподіл Вейбула.

Висновки

- Створено новий алгоритм для моделювання траєкторій гаусівських випадкових процесів з коваріаційною функцією спеціального вигляду.

- Доведена збіжність скінченновимірних розподілів змодельованого процесу до відповідних розподілів теоретичного.
- У випадку звуження поля Ченцова на чверть кола знайдено швидкість збіжності до нуля похибки у просторі $H_{\text{ср}}$.
- Створено програмну реалізацію відповідного алгоритму мовою R.
- Проведено чисельне моделювання відповідного процесу, якість моделювання якого підтверджено порівнянням емпіричних і теоретичних статистичних характеристик процесу.
- Для змодельованого процесу знайдено емпіричний розподіл максимуму, для якого найкращу апроксимацію дає розподіл Вейбула.

Бібліографічні посилання.

1. Paranjape S. R., Park C. Distribution of the supremum of the two-parameter Yeh-Wiener process on the boundary. *Journal of Applied Probability*. Vol. 10, No. 4 (Dec., 1973), p. 875–880.
2. І.І. Клесов. Про ймовірність досягнення криволінійного рівня вінерівським полем. Теор. ймовірност. та матем. статист. Вип. 51, 1994, с.62-66.
3. Клесов О. І., Круглова Н. В. Розподіл функціоналів типу максимуму для поля Ченцова в R^3 . Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2007. № 6. с.145–150.
4. Н.В. Круглова, О.О. Диховичний, І.В. Алексєєва, Н.В. Богданова Про розподіл максимуму поля Ченцова на «сходинах», ММС, 2020, 1, с. 128-139.
5. Dykhovychnyi O. O., Kruglova N. V. Simulation of a gaussian process with correlation function of a special form //International conference" Stochastic Equations, Limit Theorems and Statistics of Stochastic Processes dedicated to the 100th anniversary of I.I. Gikhman. 2018. с. 17-22.
6. L. Doob, Heuristic approach to Kolmogorov-Smirnov theorems, *Ann. Math. Statist.* 20 (1949), p. 393-403.
7. Yeh J. Wiener measure in a Space of Functions of Two Variables. *Transactions of the American Mathematical Society*, № 95.1960. p. 433–450.
8. Allen E.J. *Modeling with Ito Stochastic Differential Equations*, Dordrecht: Springer, 2007, 228 p.
9. URL: <http://cran.us.r-project.org>.
10. Gnedenko B.V. Sur la distribution limite du terme maximum d'une série aléatoire. *Ann. Math.*, № 44 (1943), p. 423-453.

Статтю подано до редакції 03.11.2020

Піскунова О. В.,

доктор економічних наук, професор кафедри економіко-математичного моделювання,

Водзянова Н. К.,

старший викладач кафедри економіко-математичного моделювання,

Панченко К. С.,

здобувач кафедри економіко-математичного моделювання, ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Piskunova O. V.,

Doctor of Economics,

Professor of the Department of Economic and Mathematical Modeling,

Vodzyanova N. K.,

Senior Lecturer of the Department of Economic and Mathematical Modeling,

Panchenko K. S.,

Graduate Student of the Department of Economic and Mathematical Modeling,

SHEI KNEU named after V. Hetman

МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ СТРЕС-ТЕСТУВАННЯ РИНКОВОГО РИЗИКУ МЕТОДАМИ ВЕКТОРНО-РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

MODELLING OF MARKET RISK STRESS-TESTING SCENARIOS USING METHODS OF VECTOR-REGRESSION ANALYSIS

Анотація. У сучасній банківській діяльності стрес-тестування набуває вагомій ролі як обов'язковий інструмент ризик-менеджменту. Одним із найважливіших етапів стрес-тестування є побудова шоккових сценаріїв, які з одного боку мали би історичне підґрунтя, а з іншого — враховували глибину можливої кризи. Актуальність теми дослідження обумовлена тим, що з одного боку використання моделей при встановленні сценаріїв стрес-тестування банківських ризиків, у тому числі ринкового, є обов'язковою регуляторною вимогою, а з іншого боку створення універсального методу побудови стресових сценаріїв є некоректним, оскільки шоківі сценарії ефективно розробляти на індивідуальній основі, з урахуванням стратегії і бізнес-моделі окремого банку. При проведенні макроекономічних досліджень у сфері стрес-тестування постійно доводиться стикатися з необхідністю оцінити вплив різних шоків на економічну динаміку в країні. Крім того багато часових рядів, особливо в фінансовій сфері, змінюються синхронно в певній залежності. Тому розробка економетричної моделі, яка дозволить описати взаємовплив між різними фінансовими часовими рядами в нестабільних економічних умовах, займає важливу роль у процесі проведення стрес-тестування ринкового ризику. В якості такої моделі авторами обрано модель векторної авторегресії.

Новими науковими результатами публікації є розроблення обґрунтованих сценаріїв стрес-тестування ринкового ризику на підґрунті методів векторно-авторегресійного аналізу. У статті запропоновано авторську методологію побудови стресових сценаріїв ринкового ризику з застосуванням моделей векторної авторегресії. В якості ендогенних змінних економетричної моделі використано основні ризик-фактори ринкового ризику, які відображають валютний і процентний ризику: офіційні валютні курси долара та євро по відношенню до гривні, короткострокові та довгострокові процентні ставок по кредитах у гривні, доларі та євро. Обчислення проводилися в програмному пакеті EViews 10.0. Перевірка не виявила коінтеграції між змінними, тому оцінювалася стандартна VAR модель з обмеженнями. Було побудовано та проаналізовано функції імпульсних відеауків, які розглядаються як стрес-сценарії для оцінки ринкового ризику. Результати наукового дослідження можуть бути важливими для підрозділів ризик-менеджменту комерційних банків, які впроваджують інструменти стрес-тестування ринкового ризику у внутрішні системи управління ризиками.

Ключові слова: ринковий ризик; стрес-тестування; моделювання сценаріїв стрес-тестування; векторно-авторегресійна модель; VAR; функція імпульсних відеауків.

Abstract. Nowadays stress testing is becoming an important role as a mandatory tool of risk management in the modern banking activity. One of the most important stages of stress testing is the construction of shock scenarios, which on the one hand would have a historical basis, and on the other — take into account the depth of a possible crisis. The relevance of the research topic is due to the fact that on the one hand the use of models in stress-test scenarios is a mandatory regulatory requirement, and on the other hand that it is incorrect to create a universal method of stress scenarios, because shock scenarios developed on an individual basis is more effective due to taking into account the strategy and business model of each bank. When conducting macroeconomic research in the field of stress testing, we constantly have to face the need to assess the impact of various shocks on the economic dynamics in the country. In addition, many time series, especially in the financial sector, change synchronously in a certain way. Therefore, the development of an econometric model, which will describe the interaction between different financial time series in unstable economic conditions, plays an important role in the process of stress testing of market risk. The authors chose the vector autoregression model as such a model.

New scientific result of the publication is the development of reasonable scenarios of stress testing of market risk based on the methods of vector-autoregressive analysis. The authors' methodology of construction of stress scenarios of market risk with the use of vector autoregression models is offered in the article. As endogenous variables of the econometric model, we use the main risk factors of market risk, which reflect currency and interest rate risks: official exchange rates of dollar and euro against hryvna, short-term and long-term interest rates of loans in hryvna, dollar and euro. The calculations were performed in the software package EViews 10.0. The test did not reveal cointegration between variables, so it was evaluated the standard VAR model with constraints. Impulse response functions were constructed and analyzed, which are considered as stress scenarios for assessing market risk. The results of scientific research can be important to risk units of commercial banks that implement tools of market risk stress testing in the internal risk management system.

Keywords: market risks; stress-testing; modeling of stress-testing scenarios; vector autoregression model; VAR; impulse responsible function.

Постановка проблеми

Значимість стрес-тестування як основоположного інструменту ризик-менеджменту в останні роки зростає колосальними темпами. Причиною цього стала низка фінансових криз, що торкнулись у тому числі і економіки нашої країни. Інтерес до стрес-тестування проявляється і на державному рівні: регулятор активно використовує стрес-тестування в своїй аналітичній діяльності, на підставі отриманих результатів приймаються рішення, що стосуються принципових питань розвитку банківського сектора. Одним з ключових аспектів стрес-тестування є побудова стрес-сценаріїв — опису можливого стану об'єкта в майбутньому, гіпотетично або математично прогнозованого. Від того, наскільки коректно та якісно визначені сценарії, залежить кінцевий результат усього процесу стрес-тестування та подальші стратегічні кроки діяльності комерційного банку. Головною проблемою є відсутність стандартизованої методології побудови стресових сценаріїв, адже залежно від характеру, масштабу, розміру установи, складності та ризику його ділової діяльності повинні розроблятися конкретні шоківі сценарії з різним рівнем деталізації та складності, з урахуванням стратегії та бізнес-моделі окремого банку. Тому розроблення науково-обґрунтованих сценаріїв стрес-тестування ринкового ризику для комерційних банків України є надзвичайно актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблематика моделювання сценаріїв стрес-тестування ринкового ризику досліджувалась у працях багатьох вітчизняних науковців, серед яких, зокрема, Беленька Г.В., Зеленська М.І., Аксьонова А.С. та ін., та зарубіжних учених, наприклад, Кармінський А.М., Серякова Е.В., Соловійов С.С. [1—4]. У праці [1] запропоновано підходи до моделювання фінансової стабільності банківського сектору України, особливо в кризовий період, розроблено макроекономічну модель для прогнозування динаміки макроекономічних індикаторів та оцінено зміну фінансових показників комерційних банків України під впливом різних стрес-сценаріїв. Серед економіко-математичних моделей автор використав двокроковий і трикроковий метод найменших квадратів і моделі векторної корекції помилок. Доведено, що найкращі оцінки забезпечуються саме векторними моделями корекції помилок з екзогенними змінними. У праці [2] розглядаються існуючі підходи до моделювання міжгалузевих зв'язків фінансового ринку та пропонується авторський підхід на основі моделей векторної авторегресії. Для побудови моделі було обрано показники валютного, кредитного та фондового ринків

України. Виявлено, що зміни на кредитному ринку викликають зміни на валютному та навпаки, а зміни на фондовому ринку можуть стати причиною змін на валютному ринку. У статті [3] автором побудовано історичний сценарій стрес-тестування ринкового ризику, розраховано зміни основних ризик-факторів і застосовано їх до поточних значень. У дослідженні [4] побудовано однофакторні та багатфакторні сценарії, серед яких регуляторний шоківий сценарій, сценарії на основі побудови дисперсійно-коваріаційної матриці ризик-факторів і на основі моделі копул для аналізу впливу кількох ризик-факторів.

Підсумовуючи сказане, можна зазначити, що важливою невирішеною проблемою залишається побудова науково-обґрунтованих сценаріїв стрес-тестування ринкового ризику на основі методів економетричного моделювання. У праці [5] авторів запропоновано для визначення таких сценаріїв застосовувати векторно-авторегресійну модель (або Vector Autoregression, надалі VAR) — економетричну динамічну багатовимірну модель, яка обробляє одночасні набори змінних, де кожна ендогенна змінна регресує на власних відставаннях та відставаннях усіх інших змінних у системі кінцевого порядку.

Метою статті є розроблення науково-обґрунтованих сценаріїв стрес-тестування ринкового ризику комерційного банку на основі моделей векторної авторегресії, що є новим науковим результатом публікації.

Виклад основного матеріалу дослідження

В якості ендогенних змінних VAR-моделі було використано основні ризик-фактори ринкового ризику, які відображають валютний і процентний ризики. Ці фактори було детально проаналізовано у праці авторів [5], в якій для моделювання стрес-сценаріїв ринкового ризику відібрано 8 змінних: офіційні валютні курси долара та євро по відношенню до гривні (USD і EUR відповідно, вимірюються в абсолютних величинах) та короткострокові і довгострокові процентні ставки за кредитами в гривні, доларі та євро (UAH ST, UAH LT, USD ST, USD LT, EUR ST, EUR LT відповідно, одиниці виміру — %). Розглядалися щомісячні дані для вказаних показників за період з 2006 по 2018 рр., оприлюднені Національним банком України [6]. Обчислення проводились у програмному пакеті EViews 10.0, розробленому в тому числі для проведення масштабних економетричних досліджень. Для аналізу використовувались натуральні логарифми значень показників. Така трансформація даних забезпечує нормалізацію розподілу та вирівнювання дисперсії,

а також перехід аналізу від абсолютної до відносної зміни показників, що є нагляднішим та має економічний сенс під час настання стресових подій.

Основні етапи побудови та практичного застосування VAR-моделі такі:

1) перевірка часових рядів на стаціонарність і, в разі виявлення їхньої не стаціонарності, зведення до стаціонарного вигляду;

2) визначення оптимального порядку (лагу) моделі;

3) перевірка часових рядів на коінтеграцію;

4) залежно від результатів попереднього етапу вибір типу моделі та оцінювання її параметрів: у разі наявності коінтеграції рядів оцінюється модель коригування помилки, у протилежному випадку — VAR-модель;

5) побудова функцій імпульсних відгуків та їх аналіз.

Розглянемо детальніше кожен з цих етапів.

Етап 1. Перевірка часових рядів на стаціонарність.

Оскільки методологія VAR-моделювання застосовується лише для стаціонарних рядів, перевірка на стаціонарність є важливим етапом побудови моделі. Процес вважається стаціонарним, якщо його середнє та дисперсія не залежать від часу, а значення коваріації між двома періодами часу залежить лише від проміжку між ними і не залежить від конкретного періоду часу [7, с. 17-20]. Якщо ряд не є стаціонарним, тобто математичне сподівання, дисперсія або коваріація змінюються залежно від часу, то його можна звести до стаціонарного операторами різниць або виділенням тренду.

Для перевірки часового ряду на стаціонарність розроблено ряд тестів, найрозповсюдженішим з яких є тест Дікі-Фуллера (Dickey-Fuller test, DF) та його модифікація — розширений тест Дікі-Фуллера (augmented Dickey-Fuller test, ADF). В основі цього тесту лежить така базова модель:

$$\Delta Y_t = a_0 + bt + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k-1} a_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

де $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$, t — часовий тренд, ε_t — випадкова величина (білий шум), a_0, a_i, b, δ — коефіцієнти регресії.

Залежно від значень коефіцієнтів a_i можливі два випадки: якщо всі $a_i = 0$, тоді достатньо застосувати DF-тест; якщо хоча б одне зі значень $a_i \neq 0$, тоді застосовують ADF-тест. Простіше кажучи, якщо процес є типу AR(1), тоді застосовують DF-тест, у всіх інших випадках — ADF-тест.

Ще однією важливою категорією ADF-тесту є критичні значення статистики МакКіннона для тестування одиничного кореня, які представляють уточнені значення статистик Дікі-Фуллера та визначені для кожного типу регресії та заданого рівня значущості. Якщо значення статистики τ знаходиться зліва від критичного значення, то нульова гіпотеза про одиничний корінь відхиляється, а процес визнається стаціонарним. У протилежному випадку нульова гіпотеза не відхиляється, тоді процес може мати одиничні корені, тобто бути нестаціонарним часовим рядом. Статистика τ розраховується за формулою:

$$\tau = \frac{\delta - 0}{S_e(\delta)}, \quad (2)$$

де $S_e(\delta)$ — середнє квадратичне відхилення оціненого параметра δ моделі (1).

На основі трьох базових моделей тесту Дікі-Фуллера тестується нульова гіпотеза $H_0: \delta = 0$ проти альтернативної $H_1: \delta < 0$:

а) модель без дрейфу при $a_0 = 0, b = 0$: якщо $H_0: \delta = 0$, тоді часовий ряд є нестаціонарним;

б) модель з дрейфом при $b = 0$: якщо $H_0: \delta = 0$, тоді часовий ряд є нестаціонарним;

в) модель з трендом при $b \neq 0$: якщо $H_0: \delta = 0$, тоді часовий ряд є нестаціонарним.

Якщо нульова гіпотеза H_0 не може бути відхилена, тоді потрібно перейти від рівнів ряду до розрахунку перших різниць ΔY_t та повторити перевірку на стаціонарність, використовуючи різниці другого порядку $\Delta^2 Y_{t-i}$ за такою формулою базової моделі:

$$\Delta^2 Y_t = a_0 + bt + \delta \Delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k-1} a_i \Delta^2 Y_{t-i} + \varepsilon_t. \quad (3)$$

Якщо нульову гіпотезу не можна відхилити для перших різниць, тоді потрібно продовжити тестування для других різниць і т.д., до тих пір, поки не буде отримано стаціонарний часовий ряд. На практиці зазвичай достатньо різниць не більше другого порядку ($d=2$) для того, щоб привести часовий ряд до стаціонарного.

Виконано перевірку досліджуваних часових рядів на стаціонарність за допомогою розширеного тесту Дікі-Фуллера для 12 лагів, що відповідає періодичності вибірки. Результати перевірки наведено в табл. 1¹.

¹ З метою візуальної зручності наведено найбільші значення τ -статистики ADF-тесту

Таблиця 1

ПЕРЕВІРКА ЧАСОВИХ РЯДІВ НА СТАЦІОНАРНІСТЬ

	ADF τ -статистика, $I(0)$	ADF τ -статистика, $I(1)$	Критичне значення		
			1%	5%	10%
EUR_LN	-0,44	-11,65	-3,47	-2,88	-2,58
EUR_LT_LN	-1,07	-14,11	-3,47	-2,88	-2,58
EUR_ST_LN	-2,07	-16,53	-3,47	-2,88	-2,58
UAH_LT_LN	-2,08	-13,17	-3,47	-2,88	-2,58
UAH_ST_LN	-3,02	-10,92	-3,47	-2,88	-2,58
USD_LN	0,03	-10,33	-3,47	-2,88	-2,58
USD_LT_LN	-0,62	-11,49	-3,47	-2,88	-2,58
USD_ST_LN	-1,96	-14,69	-3,47	-2,88	-2,58

Як можна помітити з табл. 1, майже для всіх часових рядів за нульового порядку інтегрованості гіпотеза H_0 не відхиляється, а для перших різниць моделі з дрейфом приймається альтернативна гіпотеза. Виняток становить часовий ряд UAH ST LN: за нульового порядку інтегрованості гіпотеза H_0 про наявність одиничного кореня приймається за 1 % рівня значимості, але відхиляється за 5 % і 10 % рівня значимості. Цей ряд було додатково досліджено на стаціонарність для кожного лагу та встановлено, що з 5 % рівнем значимості для деяких лагів (0, 6-9) значення τ -статистики було вище за критичне значення, для всіх інших — нижче. Такі оцінки з великою ймовірністю свідчать про нестационарність, тому можна зробити висновок, що усі проаналізовані часові ряди є стаціонарними в перших різницях.

Далі у дослідженні використовуватимуться перші логарифмічні різниці значень розглядуваних ризик-факторів, обчислені за формулою: $\Delta Y_t = \ln(y_t) - \ln(y_{t-1})$, де y_t — значення ризик-фактору в поточний момент часу t та y попередній момент $t-1$.

Етап 2. Визначення оптимального порядку (лагу) моделі.

Визначення порядку моделі є ключовим елементом при побудові векторно-авторегресійних моделей. Основне питання полягає у визначенні кількості ендогенних змінних і кількості лагів у системі. При включенні багатьох змінних з великою кількістю лагів модель важко оцінити та аналізувати вплив змінних одна на одну. В той же

час мала кількість змінних або лагів може призвести до невірної оцінки моделі.

Якщо точна специфікація моделі невідома (що практично завжди і буває), то користуються критеріями, що дозволяють вибирати з деякої сукупності моделей найкращу. Для того, щоб визначити значення лагу p векторно-авторегресійного рівняння, застосовують процедуру Ханнона-Ріссанена, яка полягає в розрахунку кількох інформаційних критеріїв:

1) інформаційний критерій Акаїке (Akaike information criterion, AIC), який розраховується за формулою: $AIC = \ln |\Sigma_\varepsilon| + 2 \frac{k(1+pk)}{T}$;

2) інформаційний критерій Шварца (Schwarz Information Criterion, SIC), інакша назва — інформаційний критерій Байеса (Bayesian information criterion, (S)BIC), який розраховується за формулою: $(S)BIC = \ln |\Sigma_\varepsilon| + \frac{k(1+pk)}{T} \ln(T)$;

3) критерій Ханнона-Квіна (Hannan-Quinn Information Criterion, HQIC), який розраховується за формулою: $HQIC = \ln |\Sigma_\varepsilon| + 2 \frac{k(1+pk)}{T} \ln(\ln(T))$, де $|\Sigma_\varepsilon|$ — визначник дисперсійно-коваріаційної матриці залишків VAR-моделі порядку p , k — кількість ендогенних змінних, T — кількість спостережень часового ряду [8, с.147-150].

Інформаційні критерії — це своєрідна міра якості економетричних моделей, яка враховує ступінь пристосування моделі до даних, враховуючи коригування на кількість оцінюваних параметрів. Перший доданок представляє собою штраф за велику дисперсію, другий — штраф за використання додаткових пояснюючих змінних. Як можна побачити з формул, критерій Ханнона-Квіна накладає найбільший штраф на збільшення кількості використуваних параметрів, а критерій Акаїке — найменший. Тому він вважається найменш значущим у порівнянні з двома іншими. До того ж, критерій Шварца являється асимптотично ваговим, у той час як критерій Акаїке зміщений у сторону вибору перепараметризованої моделі.

Обирається така довжина лага p , якій відповідає найменше значення критерію. Слід зазначити, що інформаційні критерії використовуються виключно для порівняння моделей між собою, вони не дають змоги тестувати або перевіряти статистичні гіпотези.

Розраховані значення інформаційних критеріїв наведено на рис. 1.

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	1299.604	NA	1.97e-18	-18.06439	-17.89863*	-17.99703*
1	1399.575	187.3589	1.19e-18	-18.56748	-17.07570	-17.96129
2	1476.039	134.7486	1.01e-18*	-18.74181	-15.92400	-17.59679
3	1531.015	90.72861	1.17e-18	-18.61559	-14.47175	-16.93173
4	1578.177	72.55724	1.54e-18	-18.38010	-12.91023	-16.15741
5	1625.344	67.28658	2.08e-18	-18.14467	-11.34877	-15.38314
6	1688.836	83.47194	2.31e-18	-18.13756	-10.01564	-14.83720
7	1742.508	64.55658	3.08e-18	-17.99311	-8.545161	-14.15392
8	1795.885	58.23035	4.36e-18	-17.84455	-7.070571	-13.46652
9	1875.391	77.83750	4.61e-18	-18.06141	-5.961402	-13.14455
10	1995.707	104.3300*	3.03e-18	-18.84905	-5.423010	-13.39335
11	2079.863	63.55877	3.73e-18	-19.13096	-4.378891	-13.13642
12	2194.471	73.73371	3.55e-18	-19.83876*	-3.760665	-13.30539

Рис. 1. Встановлення оптимального порядку VAR-моделі

Як бачимо з рис. 1, за результатами тесту мінімальні значення двох інформаційних критеріїв SC і HQ відповідають нульовому лагу. Проте, враховуючи, що в економіці практично не зустрічаються випадки, коли велика кількість змінних одночасно взаємодіє між собою в один і той самий момент часу, запропоновано побудувати моделі з лагами 1 і 2, які відповідають наступним після лагу 0 мінімальним значенням критеріїв SC і HQ, та вибрати між ними найкращу. Для фінального вибору оптимальної довжини лагу застосовано інформаційні критерії Акаїке та Шварца, значення яких наведено у табл. 2, а також розраховано статистику тесту відношення правдоподібності LR, рекомендовану К. Сімсом.

$$LR = [T - (1+k \cdot p)] (\ln |\Sigma_{\varepsilon 1}| / - \ln |\Sigma_{\varepsilon 2}|), \quad (4)$$

де $|\Sigma_{\varepsilon 1}|$, $|\Sigma_{\varepsilon 2}|$ — визначники дисперсійно-коваріаційних матриць залишків VAR(1) і VAR(2).

LR-статистика асимптотично має розподіл χ^2 зі ступенем свободи, що дорівнює кількості обмежень, накладених на оцінки параметрів [8, с.159].

Таблиця 2

РЕЗУЛЬТАТИ ПОБУДОВИ VAR(P)

Модель	Визначник $ \Sigma_{\varepsilon} $	AIC	(S)BIC
VAR(1)	2,7830·10 ⁻¹⁹	-18,56748	-17,07570
VAR(2)	1,0408·10 ⁻¹⁹	-18,74181	-15,92400

Розраховане значення $LR = 136,71$, критичне значення $\chi^2_{(0,05;64)} = 83,68$. Так як $LR > \chi^2_{(0,05;64)}$, то порівняння визначників не дає змоги стверджувати про їх рівність, а це означає, що кращою буде модель без обмежень на оцінки параметрів VAR(2).

За інформаційним критерієм Акаїке також вибираємо VAR(2). Значення (S)BIC протирічить двом першим висновкам, але враховуючи, що цей критерій бажано застосовувати для великої кількості спостережень і незначної розбіжності в значеннях для VAR(1) і VAR(2), вибираємо для подальшого аналізу модель VAR(2) з лагом 2.

Етап 3. Перевірка часових рядів на коінтеграцію.

На Етапі 1 з метою задоволення умов стаціонарності довелося трансформувати дані, взявши перші різниці. Якщо побудувати модель на перетворених даних, то зі змістовної точки зору отримана модель описуватиме тільки короткострокові взаємозв'язки між економічними змінними, і як наслідок, виключається можливість існування довгострокової рівноваги між рівнями рядів. Фактично це означатиме ігнорування наявності довгострокових залежностей в макроекономіці. Кардинальним вирішенням проблеми є поняття коінтеграції. На практиці часто виникають ситуації, коли економічні змінні є нестаціонарними, однак їхні лінійні комбінації можуть бути стаціонарними. В такому випадку кажуть, що змінні коінтегрують, інакше це означає, що між змінними зі стохастичними трендами існує довгостроковий рівноважний зв'язок.

Одним зі способів перевірити фактори на коінтеграцію є перевірка залишків кожного рівняння довгострокової рівноваги на стаціонарність [7, с. 126-140]. Даний спосіб є методологією Енгла-Грейнджера. Іншим методом є визначення наявних коінтеграційних зв'язків на основі стандартної VAR-моделі шляхом включення в праву частину рівняння вектора Y_{t-1} (у рівнях, інші лагові змінні — перші різниці) з відповідною матрицею параметрів Π розмірністю $k \times k$, де k — кількість ендогенних змінних VAR-моделі. Цей підхід має назву метода Йохансена. Вважається, що якщо перевірку на коінтеграцію проходять два часових ряди ($k=2$), тоді краще використовувати тест Енгла-Грейнджера, якщо перевіряються більше ($k>2$), тоді доцільніше застосовувати методологію Йохансена. Якщо підтверджується гіпотеза про наявність коінтеграційних зв'язків, тоді краще оцінювати та аналізувати модель коригування помилок (ECM), яка дозволяє одночасно оцінити зміни в короткостроковому та довгостроковому періодах. Оскільки досліджуються 8 змінних, тому розглянемо детальніше метод Йохансена. Базове рівняння за

методологією Йохансена набуває вигляду, якщо записати матрицю Π через добуток $\alpha\beta^T$:

$$\begin{aligned}\Delta Y_t &= \Pi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t, \\ \Delta Y_t &= \alpha \beta^T Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t,\end{aligned}\quad (5)$$

де $\Pi = -(I - \sum_{i=1}^p A_i)$ — матриця розмірністю $k \times k$, ранг якої r дорівнює кількості коінтеграційних рівнянь, $\pi_i = -\sum_{j=i+1}^p A_j$, β — коінтеграційна матриця $k \times r$, що описує наявний довгостроковий зв'язок у r рівняннях із k рівнянь системи, α — матриця $k \times r$, що описує швидкості пристосування до довгострокової тенденції.

Залежно від значення рангу r матриці Π виділяють такі випадки:

а) якщо ранг $r = 0$, тоді модель є звичайною VAR-моделлю в перших різницях;

б) якщо ранг $r = k$, тобто матриця Π має повний ранг, це означає, що всі компоненти вектора Y_{t-1} у рівнях стаціонарні, але це викликає протиріччя, бо стаціонарними є перші різниці; отже, коінтеграційних зв'язків не існує.

в) якщо ранг $0 < r < k$, тоді ранг матриці Π дорівнює кількості незалежних коінтеграційних рівнянь.

Відповідно до обчислених результатів, отримуємо ранг 8, який еквівалентний кількості змінних, звідки можемо зробити висновок, що коінтеграційних зв'язків не існує.

Етап 4. Оцінювання параметрів моделі.

Оскільки на етапі 3 не було виявлено коінтеграції між змінними, будувалась стандартна VAR-модель. Оцінки параметрів VAR-моделі у приведеній формі отримано за звичайним МНК.

У результаті побудови моделі багато оцінок коефіцієнтів за t -критерієм виявились незначимими. Це можливе за двох причин: 1) відповідна змінна не має впливу на залежну змінну в даному рівнянні; 2) між лаговими змінними рівняння наявна мультиколінеарність. Крім того, оцінки коефіцієнтів можуть бути незначимими, якщо часові ряди є недостатньо довгими. Тому, коли VAR-модель застосовується до макроекономічних даних з обмеженими розмірами вибірки, параметризація моделей є поширеною проблемою.

Вирішенням даної проблеми може бути встановлення обмежень на незначимі оцінки параметрів моделі. У загальному вигляді лінійні обмеження до VAR-моделі мають вигляд, що дозволить накладати обмеження простою репараметризацією моделі:

$$\beta = R\gamma + r, \quad (6)$$

де $\beta = \text{vec}(B)$ — вектор коефіцієнтів VAR-моделі, R — вектор обмежень, γ — вектор необмежених параметрів, r — вектор відомих параметрів [8, с. 194].

Вектор обмежень R будується за таким принципом. На першому етапі розраховують VAR-модель стандартним чином. Далі для кожної змінної оціненої моделі будують вектор обмежень, в якому позначкою «NA» відмічають вплив змінних із статистично-значимою оцінкою t -статистики, а позначкою «0» — незначимі оцінки. Після цього VAR-модель обов'язково необхідно перерахувати.

Результати оцінювання VAR(2)-моделі з обмеженнями (6) в приведеній формі запису такі:

$$\Delta \text{EUR}_{\text{LN}}_t = 0,011 + 0,060 \cdot \Delta \text{EUR}_{\text{LT_LN}}_{t-2} - 0,098 \cdot \Delta \text{USD}_{\text{LT_LN}}_{t-1} + \varepsilon_{1t} \quad (7)$$

$$\Delta \text{USD}_{\text{LN}}_t = 0,010 - 0,346 \cdot \Delta \text{EUR}_{\text{LN}}_{t-1} + 0,409 \cdot \Delta \text{USD}_{\text{LN}}_{t-1} + 0,062 \cdot \Delta \text{EUR}_{\text{LT_LN}}_{t-2} - 0,108 \cdot \Delta \text{USD}_{\text{LT_LN}}_{t-1} + \varepsilon_{2t} \quad (8)$$

$$\Delta \text{EUR}_{\text{ST_LN}}_t = -0,008 - 0,310 \cdot \Delta \text{EUR}_{\text{ST_LN}}_{t-1} + \varepsilon_{3t} \quad (9)$$

$$\Delta \text{EUR}_{\text{LT_LN}}_t = -0,007 - 0,316 \cdot \Delta \text{EUR}_{\text{LT_LN}}_{t-1} - 0,379 \cdot \Delta \text{EUR}_{\text{LT_LN}}_{t-2} + \varepsilon_{4t} \quad (10)$$

$$\Delta \text{USD}_{\text{ST_LN}}_t = -0,003 - 0,268 \cdot \Delta \text{EUR}_{\text{LN}}_{t-1} - 0,143 \cdot \Delta \text{EUR}_{\text{ST_LN}}_{t-2} - 0,180 \cdot \Delta \text{USD}_{\text{ST_LN}}_{t-1} + \varepsilon_{5t} \quad (11)$$

$$\Delta \text{USD}_{\text{LT_LN}}_t = -0,005 - 0,646 \cdot \Delta \text{USD}_{\text{LT_LN}}_{t-1} - 0,354 \cdot \Delta \text{USD}_{\text{LT_LN}}_{t-2} + 0,349 \cdot \Delta \text{UAH}_{\text{LT_LN}}_{t-1} + \varepsilon_{6t} \quad (12)$$

$$\Delta \text{UAH}_{\text{ST_LN}}_t = 0,001 - 0,113 \cdot \Delta \text{EUR}_{\text{ST_LN}}_{t-1} + \varepsilon_{7t} \quad (13)$$

$$\Delta \text{UAH}_{\text{LT_LN}}_t = 0,003 + 0,110 \cdot \Delta \text{USD}_{\text{LT_LN}}_{t-1} - 0,106 \cdot \Delta \text{UAH}_{\text{ST_LN}}_{t-2} - 0,494 \cdot \Delta \text{UAH}_{\text{LT_LN}}_{t-1} - 0,279 \cdot \Delta \text{UAH}_{\text{LT_LN}}_{t-2} + \varepsilon_{8t} \quad (14)$$

Етап 5. Побудова функцій імпульсних відгуків.

VAR-моделі дозволяють проводити економічний аналіз результатів на основі функцій імпульсних відгуків (impulse response function) [7, с. 89-97]. Функція імпульсних відгуків простежує вплив разового шоку на одне з нововведень на поточні та майбутні

значення ендогенних змінних. Вона показує зміну ендогенних показників у відповідь на шок (зміну одного зі збурень системи). Зміна одного зі збурень ε_{it} призведе до зміни усіх поточних і майбутніх значень Y_{it} . Шок для i -ї змінної не тільки безпосередньо впливає на саму змінну, але й передається до всіх інших ендогенних змінних через динамічну структуру відставання VAR. Інакше кажучи, функція імпульсних відгуків вимірює ефект зміни значень ендогенних змінних системи в поточний і майбутні періоди часу, викликані зміною одного з показників на одне середньоквадратичне відхилення в поточний період часу.

Для побудованої моделі (7)-(14) функції імпульсних відгуків наведено на рис. 2.

Дослідивши функції імпульсних відгуків і виділивши найбільший вплив ендогенних змінних на шокову зміну результуючого показника, отримуємо табл. 3.

Важливо відмітити, що отримані у табл. 3 результати є не що інше, як сценарії стрес-тестування ринкового ризику, в яких відображено зміну залежних параметрів унаслідок настання шоку. Так, VAR-модель забезпечує існування сталих, економічно-обґрунтованих взаємозв'язків між елементами ринкового ризику, в той час як функція імпульсних відгуків дозволяє проаналізувати їх взаємозалежний характер зміни в шоккових умовах. У подальшому обчислені результати можуть стати частиною історичного або гіпотетичного сценарію стрес-тестування.

Оскільки у VAR-моделюванні дані зазнали двох трансформацій: логарифмування та інтегрування, тому для отримання кінцевого результату необхідно виконати протилежні дії у зворотному напрямку. У підсумку отримуємо такі стрес-сценарії:

1. Зміна курсу пари валют євро/гривня в шоккових умовах призведе до зниження довгострокової процентної ставки в доларі США до 6,8 % (-1,6 % в абсолютному вираженні; -19,2 % у відносному вираженні) в другому місяці та зросте до 7,6 % у третьому місяці (+0,8 % і +12,2 % відповідно).

2. Зміна курсу пари валют долар/гривня в шоккових умовах призведе вже з другого місяця до зниження курсу валют євро/гривня в 2,3 разу та зниження довгострокової процентної ставки в доларі США до 6,7 % (-1,8 % в абсолютному вираженні; -20,9 % у відносному вираженні).

3. Зміна короткострокової процентної ставки в доларі США в шоккових умовах призведе до зниження курсу валют євро/гривня в 1,5 разу в другому місяці та зниження короткострокової процентної ставки в євро на 24,3 %.

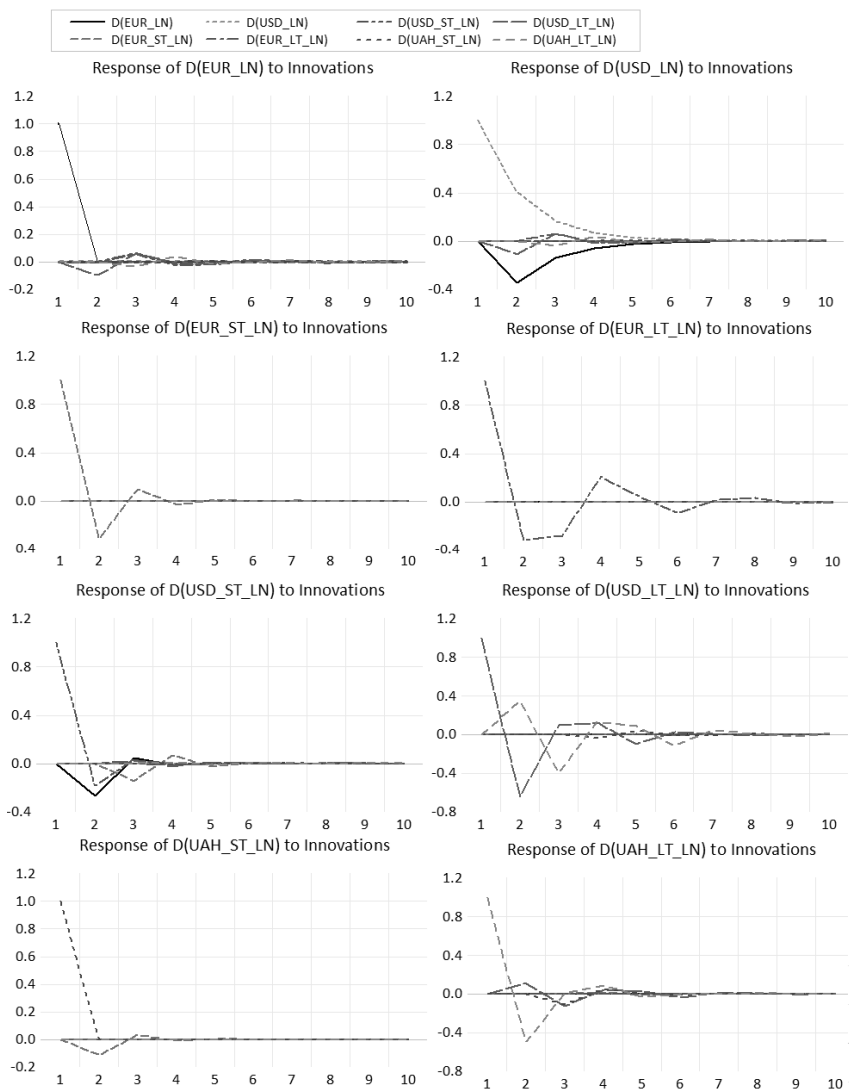


Рис. 2. Функції імпульсних відгуків побудованої VAR-моделі

4. Зміна довгострокової процентної ставки в доларі США в шок-ових умовах призведе спочатку до зростання довгострокової процентної ставки в гривні в 1,8 разу в другому місяці, а потім її стрімкого зниження в 4 рази вже у третьому місяці.

5. Зміна короткострокової процентної ставки в гривні в шокових умовах призведе до зниження короткострокової процентної ставки в євро на 18,6 %.

6. Зміна довгострокової процентної ставки в гривні в шокових умовах призведе спочатку до зростання довгострокової процентної ставки в доларі США на 26,4 % у другому місяці, а вже в третьому місяці відбудеться зниження показника на 32,8 % з одномоментним зниженням короткострокової процентної ставки в гривні на 40,1 %.

Таблиця 3

АНАЛІЗ ФУНКЦІЙ ІМПУЛЬСНИХ ВІДГУКІВ ПОБУДОВАНОЇ МОДЕЛІ

Показник, який зазнає шокової зміни	Змінна, яка суттєво реагує на зміну шокового показника	Характер поведінки та максимальне значення змінної, у % від власного значення
ΔEUR_LN	ΔUSD_LT_LN	Знизиться на 10 % через два місяці, в третьому місяці зросте на 6 %
ΔUSD_LN	ΔEUR_LN	Знизиться на 35 % через два місяці, поступово повернеться до попереднього значення через 5 місяців
	ΔUSD_LT_LN	Знизиться на 11 % через два місяці, в третьому місяці зросте на 6 %
ΔUSD_ST_LN	ΔEUR_LN	Знизиться на 27 % через два місяці, в третьому місяці повернеться до попереднього значення
	ΔEUR_ST_LN	Знизиться на 14 % через три місяці, в четвертому місяці зросте на 7 %
ΔUSD_LT_LN	ΔUAH_LT_LN	Зросте на 35 % через 2 місяці, через 3 місяці знизиться на 40 %
ΔUAH_ST_LN	ΔEUR_ST_LN	Знизиться на 11 % через два місяці, через місяць повернеться до попередніх значень
ΔUAH_LT_LN	ΔUSD_LT_LN	Зросте на 11 % через 2 місяці, через 3 місяці знизиться на 12 %
	ΔUAH_ST_LN	Через 3 місяці знизиться на 11 %, через місяць повернеться до попередніх значень

Висновки. Таким чином, розроблено сценарії стрес-тестування ринкового ризику комерційного банку на основі моделі векторної авторегресії. Результати проведеного дослідження показали, що між проаналізованими елементами ринкового ризику існує тісний взаємозв'язок. З'ясовано, що зміни на процентному ринку викликають зміни на валютному, а зміни на валютному ринку проковкують зміни на ринку кредитних ресурсів. Хоча моделювання сценаріїв стрес-тестування ринкового ризику методами векторно-регресійного аналізу є досить складним і ресурсно-витратним підходом до побудови стресових сценаріїв, водночас стрес-сценарії, отримані на основі функцій імпульсних відгуків, є обґрунтованими, наглядними та економічно-логічними.

У подальших дослідженнях для побудови оптимальної моделі ринкового ризику планується серед ризик-факторів додатково розглянути фондовий ризик.

Бібліографічні посилання

1. Беленька Г. В. Математичні методи діагностування фінансової стабільності банківського сектору України: дис. на здобуття наук. ступеня к.е.н. за спец. 08.00.11. ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана. Київ, 2011. 165 с.

2. Зеленська М. І., Аксьонова А. С. Прикладні аспекти дослідження взаємозв'язків між сегментами фінансового ринку України. Ефективна економіка № 1, 2014. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2696>. (дата звернення 20.04.2020)

3. Соловьев С.С. Стресс-тестирование рыночных рисков финансовой организации в условиях кризиса. Финансы и кредит. 2010. № 17 (401). С. 54-58.

4. Карминский А.М., Серякова Е.В. Методы и модели стресс-тестирования рыночных рисков портфеля финансовых инструментов. Вестник МГИМО-Университета. 2015. № 4(43). С. 53-63.

5. Піскунова О.В., Водзянова Н.К., Панченко К.С. Концепція стрес-тестування ринкового ризику з використанням методів економетричного моделювання. Моделювання та інформаційні системи в економіці. 2020. № 99.

6. Офіційний сайт Національного банку України. URL: <https://bank.gov.ua>

7. Лук'яненко І. Г., Городніченко Ю. О. Сучасні економетричні методи у фінансах. Навчальний посібник. Київ : Літера ЛТД, 2002. 352 с.

8. Lutkepohl H. New Introduction to Multiple Time Series Analysis. Springer-Verlag, Berlin, 2005. 765 с.

Статтю подано до редакції 06.10.2020

Серденко Т. В.,
старший викладач кафедри комп'ютерної математики та
інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Serdenko T. V.,
Senior Lecturer of the Computer Mathematics and
Information Security Department,
SHEI KNEU named after V. Hetman

ВЕЙВЛЕТ АНАЛІЗ У ГАЛУЗІ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

WAVELET ANALYSIS IN THE FIELD OF INFORMATION PROTECTION

Анотація. У статті наведено огляд сучасних методів захисту інформації, для реалізації яких використовується вейвлет-перетворення сигналів. Основна область застосування вейвлетних перетворень — аналіз та обробка сигналів, нестационарних у часі або неоднорідних у просторі, коли результат аналізу повинен містити не лише загальну частотну характеристику сигналу, але й відомості про певні локальні координати, на яких проявляються ті чи інші групи частотних складових, або на яких відбуваються їх швидкі зміни. Проаналізовано перспективи використання методів вейвлет-аналізу для захисту зображень шляхом вбудовування водяних знаків у зображення та для захисту передавання мовної інформації, так як саме мовна інформація часто містить персональні дані людини, інформацію про особисте життя людини, тобто таку інформацію, яка не підлягає широкому розголосу, а іноді і секретні дані стосовно фінансової чи виробничої діяльності організацій. На сьогодні існує кілька методів захисту передавання інформації. Поряд з методами цифрової обробки застосовуються аналогові методи, але аналогові методи захисту інформації забезпечують менший ступінь захисту, ніж цифрові. Стоїть задача вирішити питання оптимального захисту інформації у каналах зв'язку найбільш простими та швидкими методами. Вейвлет-аналіз є перспективним напрямом обробки сигналів, так як має ряд переваг перед іншими методами, зокрема перед перетворенням Фур'є. Можна виділити подальші перспективні напрямки досліджень, а саме розробку більш досконалих алгоритмів захисту інформації за допомогою вейвлет-перетворень, створення вейвлет-фільтрів, які найточніше відповідають поставленій задачі, тестування різних типів вейвлетів для різних задач, так як різні види вейвлетів дозволяють виявити різні особливості сигналів, тому підбір найкращого алгоритму носить децю суб'єктивний характер. Необхідно провести порівняльний аналіз різних вейвлетів для однієї задачі та вибрати той вейвлет, який найбільше підходить для вирішення конкретної задачі.

Ключові слова: вейвлет-перетворення; вейвлет-фільтр; захист інформації; мовні сигнали; стеганографія; цифровий сигнал; цифрові водяні знаки.

Abstract. This article provides an overview of modern methods of information protection, for the implementation of which wavelet signal conversion is used.

The main area of application of wavelet transforms is the analysis and processing of signals that are nonstationary in time or inhomogeneous in space, when the result of the analysis must contain not only the general frequency response of the signal, but also information about certain local coordinates on which certain groups of frequency components appear or their rapid changes take place. Prospects for the use of wavelet analysis methods to protect images by embedding watermarks in images and to protect the transmission of speech information, because of speech information often contains personal data, personal information about human life, i.e., information that is not subject to wide publicity, and sometimes contains classified information about the financial or production activities of organizations. Today, there are several methods to protect the transmission of information. Along with digital processing methods, analog methods are used, but analog methods of information protection provide a lower degree of protection than digital. The task is to solve the problem of optimal protection of information in communication channels by the simplest and fastest methods. Wavelet analysis is a promising area of signal processing, as it has a number of advantages over other methods, including Fourier transform. We can identify further promising areas of research, namely the development of more advanced algorithms for protecting information using wavelet transforms, creating wavelet filters that best meet the problem, testing different types of wavelets for different tasks, because of using different types of wavelets allows to detect different features of the signals, so the selection of the best algorithm is subjective. It is necessary to conduct a comparative analysis of different wavelets for one task and choose the wavelet that is most suitable for a particular problem.

Keywords: wavelet transform; wavelet filter; information protection; speech signals; steganography; digital signal; digital watermarks.

Вступ. Вейвлет-аналіз є перспективним напрямом цифрової обробки сигналів. На даний час вейвлети широко використовують для фільтрації та попередньої обробки цифрової інформації, стиснення та обробки зображень, розпізнавання образів, аналізу медичних сигналів (зокрема ЕКГ), аналізу стану та прогнозування ситуації на фондових ринках, при вивченні нейромереж і в багатьох інших випадках [1-5].

Постановка проблеми. На сьогодні вейвлет-аналіз використовується для захисту цифрової інформації, але цей метод має як ряд переваг, так і певні недоліки та обмеження.

Метою статті є огляд існуючих напрямків використання вейвлет-перетворень з метою захисту інформації. Розглянуто основні напрямки використання вейвлет-перетворень у галузі захисту інформації, проаналізовано їх переваги та недоліки. Окреслено подальші перспективні напрямки дослідження для вирішення існуючих проблем.

Виклад основного матеріалу. Вейвлет-аналіз виник у середині 80-х років ХХ століття на потребу вирішення прикладних задач. Так, неперервний вейвлет-аналіз виник у результаті необхідності аналізу сейсмічних коливань з більшою чутливістю, ніж це міг забезпечити аналіз за допомогою перетворень Фур'є.

Перша згадка про вейвлети з'явилась у джерелах про цифрову обробку та аналіз сейсмічних сигналів. Аналіз сигналів за допомогою вейвлетів дозволяє виявляти присутність у них певних стрибків і неоднорідностей. Основна область застосування вейвлетних перетворень — аналіз та обробка сигналів і функцій, нестационарних у часі або неоднорідних у просторі, коли результат аналізу повинен містити не лише загальну частотну характеристику сигналу, але й відомості про певні локальні координати, на яких проявляються ті чи інші групи частотних складових, або на яких відбуваються швидкі зміни частотних складових сигналу.

Слово «wavelet» у перекладі з англійської означає «маленька хвиля» (така назва пояснюється формою функції, яка використовується у вейвлет-аналізі). Цей термін ввели у своїй статті 1984 року Морлет і Гросман.

Вейвлети мають вигляд коротких хвильових пакетів з нульовим інтегральним значенням, локалізованих по осі аргументів (незалежних змінних), інваріантних до зсуву та лінійних до операції масштабування (стиснення-розтягнення).

Вейвлетні базиси можуть бути добре локалізованими як по частоті, так і по часу. При виділенні в сигналах добре локалізованих різномасштабних процесів можна розглядати тільки ті масштабні рівні розкладу, які становлять інтерес для конкретної задачі. Вейвлетні базиси, на відміну від перетворення Фур'є, мають досить багато різних базових функцій, властивості яких орієнтовані на вирішення різних задач. Недоліком вейвлетних перетворень є їх відносна складність.

На сучасному етапі можна виділити кілька типів задач, для розв'язання яких використовується вейвлет-аналіз.

Багатомасштабний аналіз полягає у тому, щоб розглянути сигнал з різним наближенням. Шляхом послідовного поглиблення та уточнення сигналу виявляються його локальні особливості, це можуть бути характерні деталі зображення чи наголос при аналізі аудіо сигналів. Можна прослідкувати динаміку зміни сигналу залежно від масштабу.

Ортогональне вейвлет-перетворення полягає у тому, щоб масштабувати вейвлет у кілька разів і зміщувати його в часі на фіксовані відстані залежно від масштабу, при цьому всі зсуви одного масштабу повинні бути попарно ортогональні. Результатом таких послідовних кроків буде результат з заданою деталізацією сигналу та набір деталей у різних масштабах, що дозволяє збільшувати суттєві деталі чи відкидати несуттєві.

Розглянемо детальніше перспективні напрямки використання вейвлет-перетворень.

1. Обробка зображень. Вейвлет-перетворення використовується для стиснення зображень, при цьому можна виділити чи приховати деякі деталі зображень, збільшити чи зменшити зображення, підвищити його якість.

2. Обробка експериментальних даних. Використання вейвлет-перетворень дозволяє очистити вихідні дані від шумів та випадкових спотворень, виявити особливості даних для визначення подальшого напрямку їх обробки та аналізу. Вейвлети добре підходять для аналізу нестационарних сигналів, а саме медичних процесів і процесів на фондових ринках.

3. Стиснення даних за допомогою вейвлет-перетворення не вносить надмірності у вихідні дані, його перевагою є те, що сигнал може бути повністю відновлений за допомогою тих самих фільтрів.

4. Системи передачі даних і цифрової обробки сигналів. Вейвлет-перетворення має ряд переваг перед перетворенням Фур'є, тому може замінити його в традиційних сферах застосування.

Окремої уваги заслуговують два напрямки використання вейвлет-перетворень у галузі захисту інформації, яким присвячено найбільша кількість досліджень: вбудовування цифрових водяних знаків для стеганографічних систем передавання даних і захист передавання мовної інформації.

Вбудовування цифрових водяних знаків є одним з найефективніших засобів захисту інтелектуальної власності. Найпоширенішими методами приховування водяних знаків на даному етапі є методи вейвлет-перетворення. Ці методи не вносять значних спотворень у зображення, мають достатню пропускну здатність і є стійкими до навмисних атак і викривлення у каналах зв'язку.

У роботі [6] за допомогою вейвлетів Добеші розроблено алгоритм приховування цифрових водяних знаків у гладких областях зображення, як результат отримано стегозображення високої якості. Проаналізовано вплив рівнів розкладання контейнера зображення на якість приховування цифрових водяних знаків, визначено можливості застосування різних типів вейвлет-перетворень у стеганографії. У роботі [7] виконано порівняльний аналіз різних вейвлетів, досліджено їх характеристики при різних коефіцієнтах вбудовування та вбудовування у різні області перетворення для методів прихованого передавання даних на основі вейвлетів.

Мовна інформація є одним з основних джерел отримання інформації про особисте життя людини, фінансової, адміністративної

або виробничої діяльності організації, тобто відомостей, що не підлягають широкому розголосу, а іноді і зовсім секретних. Тому захист мовної інформації є дуже актуальним питанням. Під захистом передачі мовної інформації можна розуміти як приховування самого факту передавання інформації каналами зв'язку, так і передавання мовного сигналу у зашифрованому вигляді.

На сьогодні існує кілька відомих методів захисту мовної інформації, що передається: часові та частотні перетворення, накладання захисного шуму, використання динамічного хаосу, криптографічні методи.

У роботі [8] запропоновано використовувати цифрові вейвлет-фільтри для побудови системи захищеної передачі мовної інформації. Такі алгоритми можуть бути ефективними також для передавання інших типів даних, вони можуть бути застосовані при проведенні відеоконференцій і при передаванні мультимедійної інформації. Проведено оцінку криптостійкості алгоритму. Перевагою описаного алгоритму є приховування факту передачі інформації у каналі, що працює. Недоліком цього методу є те, що для збереження якості мовної інформації потрібно збільшити швидкість передавання інформації у каналі у два рази. Метод не потребує синхронізації і стійкий до часових затримок.

Висновки. Не зважаючи на те, що математичний апарат вейвлет-аналізу добре вивчений, розроблено програмне забезпечення для реалізації вейвлет-перетворень (реалізація таких алгоритмів передбачена у Matchad, Matlab, Mathematica), вейвлети залишають широкий простір для подальших досліджень. У великій мірі результат аналізу залежить від вибору вейвлету, потрібно підібрати певний вид вейвлетної функції для реалізації конкретної задачі.

Найбільший інтерес на даний час становлять кілька напрямів захисту інформації на основі вейвлет-перетворень, а саме вбудовування водяних знаків і захист мовної інформації. Розроблено алгоритми, які мають певні переваги і недоліки, проте роботи у цьому напрямку продовжується, тестуються нові типи вейвлетних функцій і підбираються найдосконаліші алгоритми.

Бібліографічні посилання

1. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets / I. Daubechies. — Philadelphia: SIAM, 1992. — 357 s.
2. Mallat S. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation / S. Mallat // IEEE Pattern Anal. and Machine Intell. — 1989. — № 11. — S. 674–693.
3. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. М.: Мир, 2005.

4. Чуи Ч. Введение в вейвлеты. М.: Мир, 2001.
5. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. ВУС, 1999.
6. Лагун А. Використання вейвлет-перетворення для приховування інформації в нерухомих зображеннях / А. Лагун, І. Лагун // Захист інформації і безпека інформаційних систем. — Л. — 2013. — С. 98–99.
7. Астраханцев А.А., Вовк О.О. Аналіз ефективності застосування вейвлет-перетворення в стенографічних системах передавання даних // Вісник Національного університету Львівська політехніка. Інформаційні системи та мережі. — 2015. — Т.832. — С.9–17.
8. Новоселов С.А., Савватин А.И. Использование согласованных вейвлет-фильтров в задаче защиты речевой информации // Докл. 12-й междунар. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение». М., 2010. Т.2. С.209–211.

Статтю подано до редакції 03.11.2020

УДК 629.7.01:629.7.083(045)

DOI 10.33111/mise.100.13

Шевчук Д. О., д.т.н., с.н.с.,
завідувач кафедри організації авіаційних перевезень,
Мединський Д. В.,
аспірант кафедри організації авіаційних перевезень,
Маляренко Д. Л.,
аспірантка кафедри організації авіаційних перевезень,
Національний авіаційний університет

Shevchuk D. O., Dr. of Engineering Sciences, Senior Research Officer,
Head of the Air Transportation Management Department
Medynskiy D. V.,
Postgraduate at the Department of Air Transportation
Management Department,
Maliarenko D. L.,
Postgraduate at the Department of Air Transportation
Management Department
National aviation university

АРХІТЕКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ АВІАЦІЙНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ, ЩО ФУНКЦІОНУЄ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

ARCHITECTURE OF AN INTELLIGENT AVIATION TRANSPORT SYSTEM THAT OPERATES UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Анотація. Існуюча локальна система інформаційного супроводу та контролю діяльності сегментів авіаційного транспортного комплексу забезпечують ефективне вирішення певного ряду завдань. Але відсутність

єдиних державних стандартів розвитку аналогічних систем обмежує можливість їх інтеграції з метою створення єдиної платформи управління, в якій принципи управління виходять на новий якісний рівень - прогнозного управління, тобто управління передбачення ситуації за всіма показниками діяльності наземного обслуговування повітряних кораблів (НОПК) в аеропорту. Така сукупність підсистем, яка об'єднує в єдиний технічний і технологічний комплекс підсистеми організації технологічного обслуговування повітряних кораблів у місцях їх стоянки в аеропорту, інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень (ІАСППР) диспетчером у збійних ситуаціях, забезпечення регулярності виконання польотів, а також надання інформаційного сервісу для всіх учасників технологічного процесу в аеропорту та потенційних суб'єктів транспортного процесу будемо називати -інтелектуальна авіаційна транспортна система (ІАТС) [12].

Оперативним завданням ІАТС є комплекс технологічної, транспортно-технологічної, технологічно-сервісної та інформаційної інфраструктури на основі інтелектуальних технологій. Фактично цей комплекс являє собою сукупність підсистем, в яких передбачена функція диспетчерського, оперативного та ситуаційного координування взаємодії служб спецтранспорту аеропорту, інших відомств і структур. Для організації такої злагодженої взаємодії необхідно створювати диспетчерські центри, які включають до свого складу ІАСППР у збійних ситуаціях в аеропорту [11]. Прийняття рішень з проектування, розширення ІАТС повинно спиратися на наукові принципи визначення моніторингу індикаторів ефективності підсистем ІАТС у системі аеропорту (за параметрами функціонування транспортної систем), а також споживачів інформаційних послуг, які безпосередньо надаються через ІАТС [12].

Ключові слова: аеропорт; прийняття рішень; наземне обслуговування; інформаційна транспортна система; підсистема; ієрархічна структура; інтелектуальна система.

Annotation. The existing local system of information support and control over the activities of the segments of the aviation transport complex provides an effective solution to a certain number of tasks. One of the main problems of air transport is the safety and regularity of flights. However the absence of unified state standards for the development of similar systems limits the possibility of their integration in order to create a unified management platform, in which the management principles reach a new qualitative level of predictable management, that is management of forecasting the situation for all indicators the situation for all indicators of aircraft ground handling at the airport. Such a complex of systems that integrates into a single technical and technological complex a subsystem for organizing the technological maintenance of aircraft at their parking at the airport, ensuring the regularity of flights and providing information services for all participants in the technological process at the airport for potential subjects of the transport process is called an - Intelligent Transport System. The operational task of the intelligent transport system is a complex of technological, transport-technological, technological-service and information infrastructure. In fact, this complex is a set of subsystems in which the function of dispatching, operational and situational coordination of the interaction of the airport special transport services, other departments and structures is provided. To organize such a coordinated interaction it is necessary to create dispatch centers.

Decision-making on the design, expansion of the intelligent transport system should be based on the scientific principles of determining the monitoring of indicators of the efficiency of the subsystems of the intelligent transport system for the parameters of the functioning of the transport system, as well as consumers of information services that are directly offered by these same intelligent transport system.

Keywords: airport; decision making; ground handling; information transport system; subsystem; hierarchical structure; intelligent system.

Постановка проблеми. Формування прикладної архітектури інтелектуальної авіаційної транспортної системи - це процес отримання в режимі проектування системи на підставі вимог замовника з урахуванням думок споживачів, транспортної політики, рівня взаємодії оперативних служб, формалізованого комплексного представлення про функціональну, технічну структуру, рівня сумісності транспортно-технічних систем(підсистем ІАТС), взаємодія яких з максимальною ефективністю забезпечує необхідну мобільність виконання рейсів і використання технологічного обладнання під час наземного обслуговування повітряних кораблів умовах виникнення збійної ситуації в аеропорту [5].

Так у роботі пропонується розглянути синтез архітектури ІАТС, а саме функціональну та фізичну архітектуру.

Інтелектуальна транспортна система-це інтелектуальна система, яка використовує інноваційні розробки в моделюванні транспортних систем та регулюванні транспортних потоків, яка надає кінцевим споживачам величезну інформативність та безпеку і в той же час якісно підвищує рівень взаємодії учасників авіатранспортної системи у порівнянні зі звичайними транспортними системами [1].

На жаль, у даний час не розроблено структурні та функціональні схеми комплексної інтелектуальної транспортної системи, а виконуються на практиці лише самостійні, розрізнені технічні розв'язки у сфері інтелектуальних авіаційних транспортних систем, такі як автоматизовані системи управління рухом і системи диспетчеризації. Окремі підсистеми інтелектуальних авіаційних транспортних систем не інтегровано в єдиний інформаційний простір і як правило не взаємодіють одна з одною. Тому нагальною задачею є розробка інформаційної та фізичної структури ІАТС [5].

Розробки ІАТС — це потенційно ефективний конкурентно-спроможний інноваційний бізнес і стимул розвитку нового високотехнологічного сектору авіапромисловості. Відмінною рисою сучасних ІАТС є зміна статусу транспортної одиниці від незалежного, самостійного і в значній мірі непередбачуваного суб'єкта транспортного руху в бік активного непередбачуваного суб'єкта транспортно-інформаційного простору [3].

Розвиток ІАТС методологічно базується на системному підході, формуючи ІАТС, як системи, а не як окремі модулі(сервіси). Підходи до створення ІАТС ґрунтуються на принципах модернізації, реінжинірингу діючих транспортних систем.

Мета статті — синтез архітектури ІАТС, з урахуванням вхідних і вихідних потоків, а також функцій і цілей управління аеропорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання аналізу причин порівняння функціональної архітектури ІАТС [12] приділяли багато уваги як вітчизняних, так і закордонних науковців, а саме : П. Пржибил, Е. Б. Хілажев, В. С. Медведєв, В. І. Комашинський, Філ Саєт, Філ Чарльз, І. В. Кабашкін, О. М. Пономарьова, Т. І. Міхєєва, С. В. Жанказієв, В. Г. Кочерга, В. В. Комаров, С. А. Гараган, Ф. Ф. Іванов, А. М. Кірілов, І. І. Дмитрієв, В. Я. Цветков, І. В. Соловійов, С. В. Мельничук, О. К. Катерна, В. В. Скалозуб.

Так, наприклад у роботі [7] авторка пропонує встановити групи користувачів інтелектуальної транспортної системи та виокремити послуги, якими вони користуються.

У роботі [12] авторка розглядає базові технології для транспортної інфраструктури і транспортних засобів, класифікує сервіси користувачів ІАТС, а автор роботи [1] досліджував омологію послуг в ІАТС з урахуванням забезпечення сумісності окремих складових елементів ІАТС.

Основні результати дослідження. Використання сучасних досягнень інформаційних, комп'ютерних, інтелектуальних технологій і засобів зв'язку — телематики в управлінні транспортними системами дозволяє кардинально підвищити ефективність і якість їх роботи. Тому, у збійних ситуаціях транспортні системи з використанням автоматизованих систем управління (АСУ), побудованих на основі перерахованих технологій отримали у всьому світі спеціальне найменування — ІАТС [13].

У світовій практиці ІАТС визнані, як загальнотранспортна ідеологія інтеграції досягнень сучасних методів управління і інтелектуальних технологій у всі види транспортної діяльності аеропорту для вирішення проблем економічного і соціального характеру, підвищення ефективності функціонування пасажирського та вантажного транспорту, зниження транспортних витрат, забезпечення транспортної безпеки, поліпшення регулярності польотів відповідно до добового плану аеропорту.

Тому, розвиток ІАТС методологічно базується на системному підході, формуючи ІАТС не як окремі функціональні блоки, а як систему. У цілому підходи до створення ІАТС ґрунтуються на принципі модернізації діючих транспортних систем шляхом поетапного розвитку і модульності створення ІАТС. Принцип модульності вимагає чіткого розуміння плану побудови ІАТС, в рамках якого будуть реалізовуватися окремі модулі, які в свою чергу будуть надалі гарантовано сумісні з модулями, синтезованими на наступних стадіях проекту [11]. Такий шлях побудови системи в

технічній літературі називається архітектурою. Архітектура ІАТС складає рамкову структуру, в межах якої можуть бути використані різні підходи до проектування з урахуванням конкретного функціоналу системи і необхідних користувачам сервісів. У нашій країні основним документом з побудови архітектури ІАТС є ГОСТ Р ІСО 14813-1020117 Інтелектуальні транспортні системи. Схема побудови архітектури інтелектуальних транспортних систем [13].

Так, функціональна архітектура визначає функції окремих елементів, модулів і підсистем і зв'язки між ними. Вона виокремлена з урахуванням специфіки функціонування ІАТС, в умовах виникнення збійної ситуації. Окремі ж підсистеми функціональної архітектури містять ряд процесів, з яких складається ІАСПР, а саме обробка поточної інформації, формування альтернатив управління та вибір оптимальної стратегії управління [5].

Складовою частиною задач функціональної архітектури ІАТС є інтелектуальна, інформаційна архітектура системи, яка надає точного опису інформаційних процесів у всіх підсистемах системи НОПК включаючи вимоги до вхідних і вихідних потоків інформації (Рис. 1), а також функцій і цілей управління [1].

Кожен з процесів (рис. 1) характеризується як конкретними функціями, так і параметрами, які висувають вимоги до вхідної та вихідної інформації, а також до способу обробки інформації. До вимог вхідної інформації окремих процесів (рис. 1) відносять, зокрема, частоту вхідної інформації, вимоги до передачі вхідної інформації від операторів наземного обслуговування повітряних кораблів (НОПК) до начальника комплексної зміни (НКЗ). До вимог обробки інформації у межах кожного процесу відносять: захищеність і надійність даних у процесі обробки, швидкість передачі даних, властивості використовуваних алгоритмів, інтелектуальність етапів підтримки прийняття рішень [11].

Опорні технології (рис. 1) ІАТС використовують виходи окремих процесів, які синхронізовані за часом, за кодом і в просторі. До опорних технологій відносять підтримку транспортного планування (добовий план польотів), інформацію від операторів, управління технологічними процесами в місцях обслуговування повітряних кораблів. Зазвичай окремі опорні технології ІАТС знаходяться у кількох прошарках ІАТС. Тому слід віднайти єдину модель ієрархічної структури, яка б враховувала різні вимоги до захищеності, надійності, збору, передачі та обробки інформації між підсистемами аеропорту [13].

Перший рівень основної схеми ієрархічної структури ІАТС представлено виконавчими елементами, де проводиться збір даних та дії з управління процесом наземного обслуговування повітряних кораблів. Другий рівень ІАТС характеризує усе оперативне управління невеликими ділянками транспортних мереж, окремих терміналів і транспортних засобів аеропорту [1].

Третій рівень ІАТС характеризує усю транспортну мережу великих ділянок і в більшості випадків, мова йдеться про обробку, уніфікацію та вилучення інформації з підсистем другого прошарку. Четвертий рівень ІАТС відображає державну транспортну політику, створення фонду розвитку транспорту, навантаження транспортної інфраструктури, оцінку втрат від збійних, позаштатних ситуацій, статистичну обробку даних. П'ятий рівень ІАТС являє собою європейський рівень і транспортну політику країн – членів Європейського Союзу [4].

Комунікаційне середовище між першим і другим рівнем ІАТС висуває найжорсткіші вимоги до захисту, надійності та доступу до передачі даних. Так, одночасно це середовище повинно відповідати й іншим вимогам, які здебільшого призводять до створення комунікаційного середовища. У першому комунікаційному рівні передається найбільша кількість даних [12].

Розглянемо детальніше характеристики кожного рівня ІАТС. Перший рівень ІАТС характеризується збором статичних і динамічних даних про транспортно-експлуатаційні показники повітряних кораблів, транспортні засоби, які обслуговують літаки в місцях стоянки. Характерним для цього рівня, окрім збору даних є здійснення інтелектуального управління за допомогою виконуючих елементів [1]. Так на першому рівні засоби та системи автоматизації реалізують такі процеси:

збір даних про транспортно-експлуатаційний стан повітряних кораблів(інтенсивність використання, метеорологічні данні);

збір даних про транспортні засоби, які використовують при обслуговуванні повітряних кораблів у місцях стоянки(моніторинг стану спецтехніки, автоматичне оповіщення про збійні, позаштатні ситуації);

збір даних про транспортні термінали(зайнятість телескопічних трапів, стан спецтехніки);

стан і зміну виконавчих елементів (зміна стану управління процесами технологічного обслуговування в роботі оператора).

Другий рівень ІАТС, вміщує в себе комп'ютерно-інтегровані комплекси, які здійснюють оптимальне управління на транспортних дільницях у межах аеропорту.

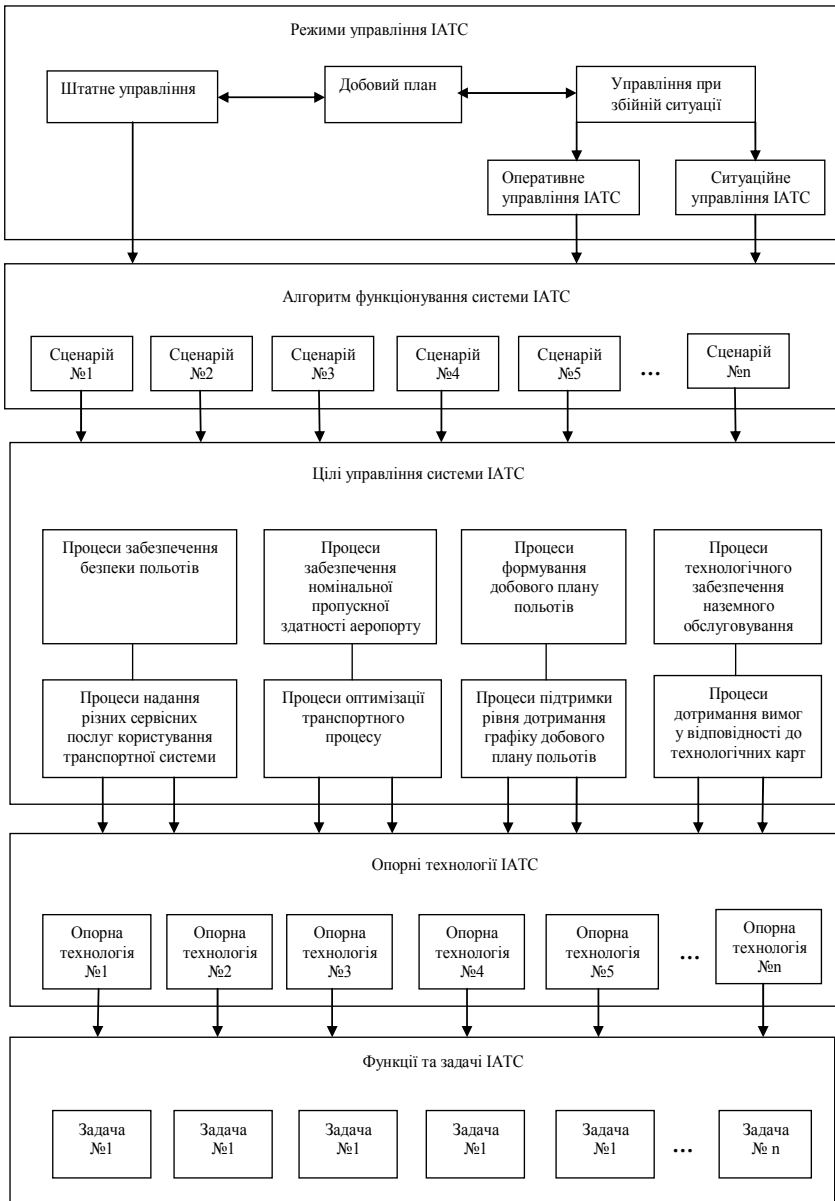


Рис. 1. Функціональна архітектура Інтелектуальної авіаційної транспортної системи

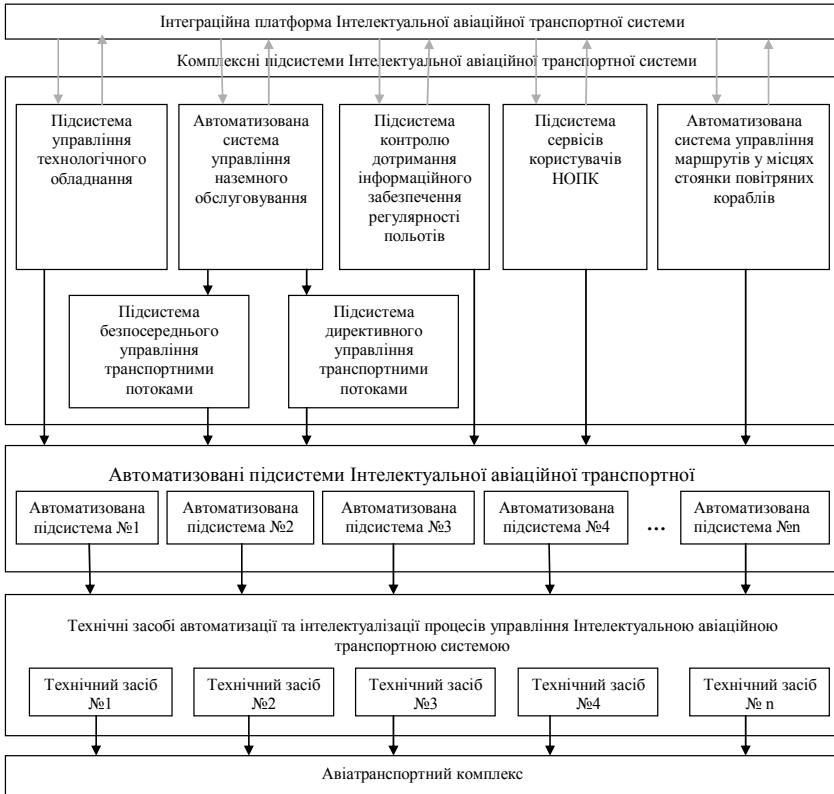


Рис. 2. Структурна схема фізичної архітектури ІАТС

Третій рівень ІАТС об'єднує засоби та системи управління другого рівня, що призначені для диспетчерського управління транспортними системами.

Четвертий рівень ІАТС є найвищою ланкою окремого виду транспорту та використовується для запровадження транспортної політики, наприклад, електронні цифрові карти розмітки на злітно-посадковій смугі аеропорту. Цей рівень інтегрує економічне планування транспорту до всіх суб'єктів авіатранспортного комплексу. Він відрізняється у першу чергу збором статистичних даних про транспортну систему та слугує для оцінки основних параметрів функціонування авіаційного транспорту на відповідному рівні.

П'ятий рівень ІАТС повинен бути ланцюгом регіональної (європейської, глобальної) транспортної політики та слугувати для її активної підтримки.

Фізична та комунікаційна архітектура визначає вимоги, які висуваються до програмного забезпечення та апаратним засобам інформаційних, комп'ютерних та інтелектуальних технологій, враховуючи їх просторову локалізацію на ієрархічних рівнях ІАТС [13].

Відповідно до запланованої функціональної та інформаційної архітектури варто зазначити та виокремити конкретні технічні рішення засобів автоматизації та програмного забезпечення ІАТС. Критерієм для прийняття рішень по впровадженню їх в ІАТС є функціональність, безпека, надійність і, не в останню чергу – витрати, пов'язані із придбанням системи. Фізичну архітектуру ІАТС (рис. 2) пропонується розбити на три ієрархічні рівні.

Фізична архітектура першого рівня зумовлена вибором засобів автоматизації та виконуючих елементів. Між першим і другим рівнем здійснюється передача найважливіших даних, яка пов'язана з управлінням транспортними потоками в аеропорту. Передача між першим і другим рівнем здійснюється за допомогою власної спеціальної автоматизованої системи, яка повинна гарантувати та задовольняти усім вимогам до захищеності та доступності передачі інформації [11].

Другий рівень здійснює обробку даних і контролює зональне управління. Він створюється у відповідності до обчислювальної техніки відповідно до умов оброблюваної інформації. Телекомунікація між другим і третім рівнями реалізується відповідно до умов конкретних процесів.

Третій рівень визначено інформаційними технологіями управління, логістики. Вибір програмного забезпечення та апаратних засобів здійснюється виходячи з умов окремих процесів.

Одним із основних елементів ІАСПРР є база знань, яка реалізує в собі позитивний попередній досвід дій операторів НОПК функціонуючого в умовах збійних ситуацій. Розглянемо детальніше метод побудови «бази даних» ІАТС.

У роботі пропонується використовувати методику побудови бази правил ІАТС, що функціонує в умовах невизначеності, заснована на методі лінгвістичної апроксимації, запропонованому професором А.П. Ротштейном [6, 8—10]. Ідея, покладена в основу зв'язків між змінними авіатранспортної системи «вхід-вихід» і в описі цих зв'язків на природній мові із застосуванням теорії нечітких множин і лінгвістичних змінних

Розглянемо ІАТС з m_n входами і одним виходом:

$$p = f(m_1, m_2, \dots, m_n), \quad (1)$$

де f — вихідна змінна (добовий план польоту); m_1, m_2, \dots, m_n — вхідні змінні (кількість рейсів, типи повітряних кораблів (ПК), «комплекс пєсвєсів» наявні технічні засоби і так лпї)

Змінні m_1, m_2, \dots, m_n і p є кількісними, тому передбачаються відомими межі їх зміни:

$$M_i = [m_{i\min}, m_{i\max}], i = \overline{1, n}; \quad (2)$$

$$P = [p_{\min}, p_{\max}], \quad (3)$$

де $m_{i\min}$ ($m_{i\max}$) — мінімальне (максимальне) значення вхідної змінної m_i , $i = \overline{1, n}$; p_{\min} (p_{\max}) — мінімальне (максимальне) значення вихідний змінної p .

Завдання полягає в тому, щоб для вектору стану ІТС $M^* = [m_1^*, m_2^*, \dots, m_n^*]$ фіксованих значень вхідних змінних $m_i^* \in M_i, i = \overline{1, n}$ заданої авіатранспортної системи визначити необхідну корекцію добового плану польотів $p^* \in P$.

Необхідною умовою формального рішення такої задачі є наявність залежності (1). Для оцінки лінгвістичних змінних $m_i, i = \overline{1, n}$ і p використовуватимемо нечіткі множини: $S_i = [s_i^1, s_i^2, \dots, s_i^{l_i}]$ — нечітка множина змінної $m_i, i = \overline{1, n}$; $V = [v_1, v_2, \dots, v_r]$ — нечітка множина змінної p , де s_i^q — q -е нечітка множина лінгвістичної змінної $m_i, q = \overline{1, l_i}, i = \overline{1, n}$; v_j — j -е нечітка множина лінгвістичної змінної p ; r — число різних рішень у даній області. У загальному випадку $l_1 \neq l_2 \neq \dots \neq l_n$.

Назви окремих термів $s_i^1, s_i^2, \dots, s_i^{l_i}$ можуть також відрізнятися один від одного для різних лінгвістичних змінних $m_i, i = \overline{1, n}$. Лінгвістичні множини $s_i^q \in S_i$ і $v_j \in V, q = \overline{1, l_i}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, r}$ розглядатимемо як нечіткі множини, задані на універсальних множинах M_i і P , визначені співвідношеннями (2) (3).

Нечіткі множини s_i^q і v_j визначимо співвідношеннями [6]:

$$s_i^q = \int_{m_{i\min}}^{m_{i\max}} \mu^{s_i^q}(m_i) / m_i; \quad (4)$$

$$v_j = \int_{p_{\min}}^{p_{\max}} \mu^{v_j}(p) / p, \quad (5)$$

де $s_i^q(m_i)$ — функція належності вхідної змінної $m_i \in [m_{i_{\min}}, m_{i_{\max}}]$ множині $s_i^q \in S_i, q = \overline{1, l_i}, i = \overline{1, n}$;

$\mu^{v_j}(y)$ — функція належності вихідний змінної $p \in [p_{\min}, p_{\max}]$ — рішенню $v_j \in V, j = \overline{1, r}$.

Припустимо, що є N дані, що встановлюють зв'язок між поточною ситуацією в аеропорту і необхідною корекцією добового плану польотів (ДПП). Розподілимо їх таким чином: $N = k_1 + k_2 + \dots + k_r$, де k_j — число даних, що відповідає вихідному рішенню $v_j, j = \overline{1, r}, r$ — число вихідних рішень, у загальному випадку $k_1 \neq k_2 \neq \dots \neq k_r$. Передбачається, що $N < l_1 \cdot l_2 \cdot \dots \cdot l_n$, тобто число даних менше повного перебору різних поєднань рівнів ($l_i, i = \overline{1, n}$) зміни вхідних змінних ІАТС.

Пронумеруємо N даних таким чином:

11, 12, ..., 1 k_1 — номери комбінацій вхідних змінних для оптимальної корекції ДПП v_1 ;

21, 22, ..., 2 k_2 — номери комбінацій вхідних змінних для оптимальної корекції ДПП v_2 ;

j 1, j 2, ..., j k_j — номери комбінацій вхідних змінних для оптимальної корекції ДПП v_j ;

r 1, r 2, ..., r k_r — номери комбінацій вхідних змінних для оптимальної корекції ДПП v_r .

За результатами експертних оцінок про зв'язок між входами і виходом ІАТС побудуємо таблицю у відповідність наступним правилами (табл. 1).

1. Розмірність матриці: $(n+1) \times N$, де $(n+1)$ — число стовпців, а $N = k_1 + k_2 + \dots + k_r$ — число рядків;

2. Перші стовпців матриці відповідають вхідним змінним, $m_i, i = \overline{1, n}$, а $(n+1)$ -й стовпець відповідає значенням $v_j, j = \overline{1, r}$ вихідний змінної p .

3. Кожен рядок матриці є деякою комбінацією значень вхідних змінних, віднесеною експертом (оператором) до одного з можливих значень вихідної змінної p . При цьому: перші k_1 рядків відповідають значенню вихідної змінної $p = v_1$, другі k_2 рядків — значенню $p = v_2$ і так далі, останні k_r рядків - значенню $p = v_r$.

4. Елемент s_i^{jq} стоїть на перетині i -го стовпця і jq -го рядка відповідає лінгвістичній оцінці параметра m_i в рядку нечіткої бази знань з номером jq .

При цьому лінгвістична оцінка s_i^{jq} вибирається з нечіткої множини яка відповідає змінній m_i , тобто $s_i^{jq} \in S_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, r}, q = \overline{1, k_j}$. Сформовану таблицю назвемо матрицею знань, яка представлена в табл. 1.

Таблиця 1
МАТРИЦЯ УПРАВЛІННЯ ІАТС

Номер вхідної комбінації значень	Вхідні змінні				Вихідна змінна
	m_1	m_2	...	m_n	p
11	s_1^{11}	s_2^{11}	s_i^{11}	s_n^{11}	v_1
12	s_1^{12}	s_2^{12}	s_i^{12}	s_n^{12}	
...	
$1 k_1$	$s_1^{1k_1}$	$s_2^{1k_1}$	$s_i^{1k_1}$	$s_n^{1k_1}$	
...					
$j 1$	s_1^{j1}	s_2^{j1}	s_i^{j1}	s_n^{j1}	v_2
$j 2$	s_1^{j2}	s_2^{j2}	s_i^{j2}	s_n^{j2}	
...	
jk_j	$s_1^{jk_j}$	$s_2^{jk_j}$...	$s_n^{jk_j}$	
...					
$r 1$	s_1^{r1}	s_2^{r1}	s_i^{r1}	s_n^{r1}	v_r
$r 2$	s_1^{r2}	s_2^{r2}	s_i^{r2}	s_n^{r2}	
...	
$r k_r$	$s_1^{rk_r}$	$s_2^{rk_r}$	$s_i^{rk_r}$	$s_n^{rk_r}$	

Наявні експертні дані, представлені в вигляді матриці знань, встановлюють зв'язок між набором вхідних параметрів, що характеризують поточні стан ІТС $m_1 - m_n$ і що відповідає цьому набору станів системи необхідна корекція ДПП $v_j, j = \overline{1, r}$, у вигляді логічних висловлювань типу «Якщо (поточна ситуація в аеропорту), то (необхідний управляючий вплив (корекція ДПП))»:

якщо $(m_1 = s_1^{11})$ і $(m_2 = s_2^{11})$ і...і $(m_n = s_n^{11})$ або $(m_1 = s_1^{12})$ і $(m_2 = s_2^{12})$ і...і $(s_n = m_n^{12})$ або $(m_1 = s_1^{1k_1})$ і $(m_2 = s_2^{1k_1})$ і...і $(m_n = s_n^{1k_1})$, то $p = v_1$;

якщо $(m_1 = s_1^{21})$ і $(m_2 = s_2^{21})$ і...і $(p_n = s_n^{21})$ або $(m_1 = s_1^{22})$ і $(m_2 = s_2^{22})$ і...і $(m_n = s_n^{22})$ або $(m_1 = s_1^{2k_2})$ і $(m_2 = s_2^{2k_2})$ і...і $(m_n = s_n^{2k_2})$, то $p = v_2$;

якщо $(m_1 = s_1^{r1})$ і $(m_2 = s_2^{r1})$ і...і $(m_n = s_n^{r1})$ або $(m_1 = a_1^{r2})$ і $(m_2 = s_2^{r2})$ і...і $(m_n = s_n^{r2})$ або $(m_1 = s_1^{rk_r})$ і $(m_2 = s_2^{rk_r})$ і...і $(m_n = s_n^{rk_r})$, то $p = v_r$;

де $v_j (j = \overline{1, r})$ – лінгвістична оцінка вихідний змінної p , визначувана з нечіткої множини P ; s_i^{jq} – лінгвістична оцінка вхідної змінної m_i в q -му рядку j -ої диз'юнкції, що обирається з відповідної нечіткої множини $S_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, r}, q = \overline{1, k_j}$; k_j – кількість правил, що визначають значення вихідний змінної.

З використанням операцій \cup (або), \cap (і) система логічних висловлювань може бути представлена в компактнішому виді [6, 9]:

$$\bigcup_{q=1}^{k_j} \left[\bigcap_{i=1}^n (m_i = s_i^{jq}) \right] \rightarrow p = v_j, j = \overline{1, r} \quad (6)$$

Таким чином, співвідношення (1), що встановлює зв'язок між вхідними параметрами ІАТС m_i і необхідним керуючим впливом p для зменшення часу простою формалізоване у вигляді системи нечітких логічних висловлювань, які базуються на введений матриці знань.

Лінгвістичні оцінки s_i^{jq} змінних $m_1 - m_n$, що входять у логічні висловлювання про рішення v_j розглядатимемо як нечіткі множини, визначені на універсальних множинах $S_i = [m_{i\min}, m_{i\max}]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, r}$.

Нехай $\mu^{s_i^{jq}}(m_i)$ — функція належності параметра $m_i \in [m_{i\min}, m_{i\max}]$, $i = \overline{1, n}$ нечіткій множині s_i^{jq} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, r}$, $q = \overline{1, k_j}$, а $\mu^{v_j}(m_1, m_2, \dots, m_n)$ — функція належності вектору вхідних змінних значенню вихідний змінної.

Зв'язок між цими функціями належності визначається нечіткою базою знань (6), яку перетворимо до такого виду:

$$\begin{aligned} \mu^{v_1}(m_1, m_2, \dots, m_n) = & \mu^{s_1^{11}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{11}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{11}}(m_n) \vee \\ & \vee \mu^{s_1^{12}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{12}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{12}}(m_n) \vee \dots \\ & \dots \vee \mu^{s_1^{1k_1}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{1k_1}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{1k_1}}(m_n), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^{v_2}(m_1, m_2, \dots, m_n) = & \mu^{s_1^{21}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{21}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{21}}(m_n) \vee \\ & \vee \mu^{s_1^{22}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{22}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{22}}(m_n) \vee \dots \\ & \dots \vee \mu^{s_1^{2k_2}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{2k_2}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{2k_2}}(m_n), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mu^{v_r}(m_1, m_2, \dots, m_n) = & \mu^{s_1^{r1}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{r1}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{r1}}(m_n) \vee \\ & \vee \mu^{s_1^{r2}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{r2}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{r2}}(m_n) \vee \dots \\ & \dots \vee \mu^{s_1^{rk_r}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{rk_r}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{rk_r}}(m_n), \end{aligned}$$

де \vee — логічне АБО, \wedge — логічне І.

Нечіткі логічні рівняння (7) отримані з нечіткої бази знань шляхом заміни лінгвістичних термів s_i^{jq} і v_j на відповідні функції належності, а операції \cup і \cap на операції \vee і \wedge . Систему логічних рівнянь (7) можна записати в компактному виді:

$$\mu^{v_j}(m_1, m_2, \dots, m_n) = \bigvee_{q=1}^{k_j} \left[\bigwedge_{i=1}^n \mu^{s_i^{jq}}(m_i) \right], j = \overline{1, r}. \quad (8)$$

Після того, як була формалізована початкова експертна інформація про залежність «входи – вихід» у вигляді системи нечітких логічних висловлювань, необхідно розробити алгоритм, який дозволяє по фіксованому вектору вхідних змінних $M^* = [m_1^*, m_2^*, \dots, m_n^*]$, $m_i^* \in [m_{i\min}, m_{i\max}]$ визначити відповідне значення керуючої дії $p^* \in [p_{\min}, p_{\max}]$.

Вважатимемо, що нам відомі [10]:

— нечітка множина рішень $V = [v_1, v_2, \dots, v_r]$, що відповідають вихідній змінній p ;

— множина вхідних змінних $M = [m_1, m_2, \dots, m_n]$;

— діапазони кількісної зміни кожної вхідної змінної $m_i \in [m_{i\min}, m_{i\max}]$, $i = \overline{1, n}$;

— діапазон кількісної зміни вихідної змінної $p \in [p_{\min}, p_{\max}]$;

— функції належності $\mu^{s_i^{j/q}}(m_i)$ параметра $m_i \in [m_{i\min}, m_{i\max}]$, $i = \overline{1, n}$ нечіткій множині $s_i^{j/q}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, r}$, $q = \overline{1, k_j}$.

Використовуючи нечіткі логічні залежності (8) визначимо функції належності $\mu^{v_j}(m_1, m_2, \dots, m_n)$.

Таким чином, алгоритм визначення необхідного управляючого впливу для оптимальної корекції ДПП, $p^* \in [p_{\min}, p_{\max}]$ представимо в такому виді:

1. Зафіксуємо вектор значень вхідних параметрів ІТС $M^* = [m_1^*, m_2^*, \dots, m_n^*]$.

2. Визначимо значення функцій належності $\mu^{s_i^{j/p}}$ для значень змінних $m_1^* - m_n^*$.

3. Використовуючи логічні рівняння (8), визначаємо функції належності $\mu^{v_j}(m_1, m_2, \dots, m_n)$ вектору M^* для всіх значень v_j , $j = \overline{1, r}$, вихідній змінної ІТС p .

4. Визначимо результуючу функцію належності, яка характеризує необхідний вплив (оптимальна корекція ДПП).

Розвиток ІАТС згруповано за пріоритетним напрямком інтеграції транспортних засобів у транспортну інфраструктуру за рахунок використання відкритих додатків у комп'ютерних системах транспортних засобів і програмному забезпеченні ІАТС, що дозволяє забезпечити сумісність інформаційних систем і автоматично передавати дані, необхідні для оптимального управління.

Висновки. Підводячи підсумки, варто зазначити про те, що для ІАТС характерними ознаками є адаптивність до розвитку збійної ситуації в аеропорту, вміння формувати своєчасні та коректні підказки оператору по зменшенню часу простою ПК в аеропорту.

ІАТС пропонується побудувати з використанням блочно-ієрархічного підходу, з урахуванням зв'язку між рівнями системи та підсистем на кожному рівні, а також фізичної та інформаційної архітектури. Вирішення питання формалізації процесу ухвалення на базі нечіткої логіки, варто відмітити, що перше представлення вхідних параметрів ІАТС у вигляді лінгвістичних змінних з нечіткими множинами (від'ємне велике, від'ємне мале, нуль, додатне велике і так далі) дозволяє описати причинно-наслідкові зв'язки «вхідні параметри- управляючий вплив», на природній мові за допомогою нечітких логічних висловлювань. Розроблені матриці знань дозволяють формалізувати поточну ситуацію в аеропорту у вигляді нечітких логічних висловлювань, що зв'язують лінгвістичні змінні і вихідне управління для зменшення часу простою повітряних кораблів.

Розробка сучасних ІАТС пов'язана зі значними фінансовими витратами, але з огляду на їх стратегічну значимість для розвитку авіаційного транспорту, вкрай важливо синтезувати елементи цих системі розвивати авіаційний транспорт з урахуванням необхідності в майбутньому впровадження «бази даних» до комплексної ІАТС.

Перспектива подальших досліджень. Впровадження ІАТС у регіональні аеропорти України дозволить підвищити ефективність управління муніципальними аеропортами, що функціонують в умовах невизначеності своєчасної та коректної підказки для формування необхідних управлінських рішень, що дозволить зменшити час виходу зі збійної ситуації.

Бібліографічні посилання

1. Голотюк М.В. Інтелектуальні транспортні системи в управлінні перевезення вантажів. Вісник Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка. 2013. №192. С. 12-16.

2. ДСТУ EN 16157-3:2018. Національний стандарт України. Специфікації обміну даними DATEX II для керування дорожнім рухом та інформації про дорожній рух. Частина 3. Публікація поточної ситуації (EN 16157-3:2018, IDT). Київ, 2018. С.6-10.

3. Інтелектуальні транспортні системи. Стійкий розвиток транспортної системи. зб. Матеріалів для політиків міст. 2007. С.40.

4. Інтелектуальний транспорт України // Прес-реліз: URL:
5. <https://its-ukraine.org/прес-реліз-інтелектуальний-транспорт/?lang=uk> (дата звернення 10.09.2020).
6. Кабашкин И.В. Интеллектуальные транспортные системы: интеграция глобальных технологий будущего. *Транспорт Российской Федерации*. 2010. №2 (27).
7. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. Пер. с англ./ под ред. Р.Р. Ягера. Москва. 1986. 408 с.
8. Наукові публікації, Економічний аналіз. Вип. №11. Київ, 2012. URL: [bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&121DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/ecan_2012_11\(3\)_54.pdf](bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&121DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/ecan_2012_11(3)_54.pdf) (дата звернення:11.09.2020).
9. Проектирование систем управления на ЭВМ (MATLAB/Simulink/Control System) // А.Ю. Соколов, Ю.Н. Соколов, В.М. Илюшко та др.; под ред. А.Ю. Соколова. Харьков, 2005. 590 с.
10. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница, 1999. 320 с.
11. Ротштейн О.П. Штовба С.Д. Проектування нечітких баз знань: Лабораторний практикум. Вінниця, 2013. 64 с.
12. Рудзінський В.В. Транспортні засоби: навч. посіб. Київ. 2001. 136.
13. Рудзінська О.В.,. Процеси розвитку автотранспортних технологій в інтелектуальних транспортних системах. *Вісник ЖДТУ*. №2 (77). 2016. С.11-14.
14. Циган Р.М., Кравченко А.О. Методичні підходи до управління транспортною інфраструктурою в Україні. Стат.зб. / Ефективна економіка. Кременчук. 2013. С.11-14.

Статтю подано до редакції 29.11.2020

Моделювання та інформ. системи в економіці : зб. наук. праць /
відп. ред. О. Є. Камінський. 2020. № 100. 1 — 176 с.