

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ім. В.М. ГЛУШКОВА
ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
В ЕКОНОМІЦІ

№ 1 (10), січень-березень 2018 р.

Міжнародний науковий журнал

Заснований у липні 2014 р.
Виходить 4 рази на рік

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України,
в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових
ступенів доктора і кандидата наук за напрямками фізико-математичні, технічні та
економічні науки

(Наказ Міністерства освіти і науки України від 09.03.2016. № 241)

КИЇВ 2018

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор – **С.О. Довгий**, д-р фіз.-мат. наук, академік НАНУ
Заступник головного редактора – **О.М. Трофимчук**, д-р техн. наук,
чл.-кор. НАНУ

Члени редколегії:

В.П. Вишневський, д-р екон. наук,
акад. НАНУ
В.М. Геєць, д-р екон. наук, акад. НАНУ
Л.Ф. Гуляницький, д-р техн. наук
Ю.І. Калюх, д-р техн. наук
Ю.Г. Кривонос, д-р фіз.-мат. наук,
акад. НАНУ
С.І. Левицький, д-р екон. наук
Р.М. Лепа, д-р екон. наук
О.О. Любіч, д-р екон. наук
В.О. Романов, д-р техн. наук

В.А. Пепеляєв, д-р фіз.-мат. наук
В.О. Петрухін, д-р техн. наук
С.К. Полумієнко, д-р фіз.-мат. наук
О.Г. Рогожин, д-р екон. наук
І.В. Сергієнко, д-р фіз.-мат. наук,
акад. НАНУ
М.І. Скрипниченко, д-р екон. наук,
чл.-кор. НАНУ
Д.В. Стефанишин, д-р техн. наук
П.І. Стецюк, д-р фіз.-мат. наук
В.О. Устименко, д-р фіз.-мат. наук

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

О.М. Ведута, д-р екон. наук, проф., Росія
М. Вохозка, проф., Чеська Республіка
Р. Еспехо, проф., Великобританія
А. Крайка, проф., Польща
А. Леонард, проф., Канада
П. Миколайчак, проф., Польща
Є.О. Нурмінський, д-р фіз.-мат. наук,
проф., Росія

В.М. Полтерович, д-р екон. наук, проф.,
акад. РАН, Росія
В.І. Суслов, д-р екон. наук, проф.,
чл.-кор. РАН, Росія
Ю.С. Харін, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
чл.-кор. НАНБ, Білорусь
Г. Ширз, проф., Великобританія
М. Ячимович, проф., акад. ЧАНМ,
Чорногорія

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України (протокол № 3 від 21.03.2018 р.)

*Журнал публікує оригінальні та оглядові статті, матеріали проблемного та
дискусійного характеру, науково-практичні матеріали з питань математичного
моделювання в різних сферах господарювання, інформаційного забезпечення процесу
моделювання і прогнозування, розвитку кібернетичної складової і застосування
сучасних програмно-апаратних засобів для математичного моделювання.*

ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЖУРНАЛУ

- Інформаційні технології в економіці
- Математичні та інформаційні моделі в економіці
- Аналіз, оцінка та прогнозування в економіці
- Дискусійні повідомлення

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України
Телефони: (044) 245-87-97
(044) 524-22-62

Свідоцтво про реєстрацію
КВ № 20259-10659 Р від 14.07.2014

Електронна версія журналу в Інтернеті
www.mmejournal.in.ua українською,
російською та англійською мовами

ЗМІСТ

ДО 100-РІЧЧЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Трофимчук О.М., Миронцов М.Л.

Сучасні дисертаційні дослідження Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору: математичне моделювання і обчислювальні методи..... 7

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

Качинський А.Б., Ткач В.М., Поденко А.А.

Ієрархія факторів типових сценаріїв реалізації DDOS-атак (частина II).. 31

Триснюк В.М.

Математичні моделі взаємозв'язків між показниками екологічного середовища і здоров'ям населення..... 49

Копійка О.В., Кондратюк А.Г.

Зміна бізнес-моделі управління ІТ на підприємстві у зв'язку з розвитком сервісно-орієнтованої інформаційної економіки..... 56

Тихонов Ю.Л.

Формалізація опису економічних і навчальних процесів в е-освіті за математичними залежностями типу Парето..... 67

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

Стефанишин Д.В.

Про використання розподілу Гумбеля типу I при оцінці ризиків повеней..... 74

Кряжич О.О., Коваленко О.В.

Деякі моделі обробки інформації у сфері управління техногенною безпекою..... 84

Кононцев С.В.

Моделювання процесів видалення сполук нітрогену з оборотної води індустриальних рибиницьких господарств..... 93

Лисецький Ю.М. Деякі аспекти побудови корпоративних інтегрованих інформаційних систем для управління підприємством.....	103
---	-----

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

Дунасв Б.Б., Любіч О.О. Моделювання макроекономічних процесів.....	109
--	-----

Власюк Ю.С., Стефанишин Д.В. Про проблеми та перспективи малої гідроенергетики в Україні.....	126
---	-----

Остапенко Я.О., Замота І.О. Моделювання оптимального виробництва продукції на виробничому підприємстві.....	139
---	-----

РЕФЕРАТИ.....	152
----------------------	-----

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ.....	159
------------------------------------	-----

CONTENTS

FOR THE 100th ANNIVERSARY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

Trofymchuk O.M., Myrontsov M.L.

Modern dissertation researches of the Institute of Telecommunications and Global Information Space: Mathematical Modeling and Computational Methods..... 7

INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

Kachynskiy A.B., Tkach V.M., Podenko A.A.

Hierarchy of factors of DDOS-attacks typical implementation scenarios. Volume 2..... 31

Trysnuk V.M.

Mathematical models of relationships between indicators of the environmental and healthy population..... 49

Kopiika O.V., Kondratiuk A.G.

Change of the business model of management in the enterprise in connection with the development of the servo-oriented information economy..... 56

Tikhonov Yu.L.

Formalization of the description of economic and educational processes in e-learning with the use of mathematical dependences of Pareto..... 67

MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

Stefanyshyn D.V.

On the use of the type I Gumbel distribution to assess risks given floods..... 74

Kryazhych O., Kovalenko O.

Some models of information processing in the field of technological safety management 84

Konontsev S.V.

Modeling of processes of nitrogen compounds removal from circulating water at industrial fish-farming facilities..... 93

Lisetskyi Yu.M.

Certain aspects of building Corporate Integrated Information Systems for enterprise management..... 103

ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

Dunaev B.B., Lyubich A.A.

Modeling of macroeconomic processes..... 109

Vlasiuk Yu.S., Stefanyshyn D.V.

On problems and prospects of small hydropower engineering in Ukraine.... 126

Ostapenko Ya.O., Zamota I.O.

Modeling of the optimal production at a manufacturing enterprise..... 139

ABSTRACTS..... 152

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS..... 159

ДО 100-РІЧЧЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

УДК 519.2, 519.6, 519.8

О.М. ТРОФИМЧУК, М.Л. МИРОНЦОВ

СУЧАСНІ ДИСЕРТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНСТИТУТУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ: МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

***Анотація.** Наведено основні теоретичні і практичні результати, що увійшли в дисертаційні дослідження, які були успішно захищені працівниками (або під їх науковим керівництвом) Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. Матеріал подано у вигляді анотаційного узагальнення основних наукових друкованих праць у періодичних міжнародних та вітчизняних фахових виданнях, монографіях, матеріалах наукових конференцій та авторських свідоцтв.*

***Ключові слова:** математичне моделювання, обчислювальні методи, основи і фундаменти.*

Вступ

Цього року виповнюється 100 років Національній академії наук України.

Сто років тому, 27 листопада 1918 р., Загальними зборами Української АН було обрано свого першого Президента – видатного вченого В.І. Вернадського [1].

Це перша з трьох статей, задача яких – відмітити цю історичну дату, згадавши найбільш важливі результати, що увійшли до дисертаційних досліджень, які були успішно захищені безпосередньо співробітниками Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (ІТГП НАНУ) або були захищені під їх науковим керівництвом з моменту створення Спеціалізованої Вченої Ради Д 26.255.01 (при ІТГП НАНУ).

Мета першої статті: викладення основних результатів за спеціальностями «01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи» (три докторські та шість кандидатських робіт) і «05.23.02 – основи і фундаменти» (одна докторська робота). У наступних статтях буде висвітлено результати досліджень за спеціальностями «05.13.06 – інформаційні технології» та «21.06.01 – екологічна безпека».

Окремо зазначимо, що майже всі наведені нижче результати доповідалися на щорічних конференціях «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» [2–5], головним організатором яких є ІТГП НАНУ.

1. Основні результати

Методологія проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками (2017, на здобуття наукового ступеня д.т.н.; науковий консультант чл.-кор. НАН України, д.т.н. **О.М. Трофимчук**).

Робота **В.О. Васяніна** [6] (докторант ІТГП у 2012–2017 рр.) присвячена підвищенню ефективності функціонування багатопродуктових транспортних мереж за рахунок зниження дефіцитних матеріальних, сировинних, енергетичних, фінансових і трудових витрат на основі запропонованої методології моделювання та проектування процесів обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків і комплексу заходів інформаційно-аналітичного забезпечення та автоматизації процедур прийняття рішень в управлінні транспортними потоками.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [3, с. 64–70; 7–17]:

1. Розроблено теоретичні та методологічні основи побудови та аналізу функціонування багатопродуктових ієрархічних мереж з дискретними параметрами і дрібнопартійними дискретними потоками кореспонденцій, в тому числі: концепції, принципи та критерії обробки і розподілу потоків, методологія синтезу та аналізу багаторівневої структури мережі. Визначено основні принципи та технологію організації сортування і транспортування потоків у зонально-вузловій структурі мережі. На відміну від існуючих підходів, запропонована методологія ґрунтується на комплексному вирішенні завдань довгострокового, поточного і оперативного планування та управління і дозволяє логічно пов'язати процеси обробки потоків у вузлах мережі з їх подальшим розподілом у мережі та доставкою одержувачам і при заданих обмеженнях підвищити економічну ефективність функціонування і розвитку транспортної системи в цілому за рахунок зниження приведених витрат у вузлах і на транспортних маршрутах.

2. Для управління нелінійними і нестационарними процесами обробки і розподілу потоків у мережі запропоновано концептуальний підхід до побудови багаторівневої інформаційно-аналітичної системи прийняття рішень, яка оснований на технологіях обробки просторових даних і геоінформаційних систем та функціонує в режимі реального часу.

3. Визначено основні задачі поточного планування, що становлять методологічну основу – ядро для вирішення завдань оперативного управління процесами обробки і розподілу потоків, а також для вирішення завдань перспективного розвитку мережі. Показано взаємозв'язок завдань поточного планування із завданнями оперативного управління і перспективного розвитку.

4. Запропоновано основні принципи та схеми організації перевезень у внутрішніх зонах магістральних вузлів і визначені технічні та економічні особливості реальних транспортних процесів обробки і транспортування дрібнопартійних вантажів, які повинні бути враховані при формуванні цільових функцій математичних моделей задач маршрутизації на рівнях

довгострокового і поточного планування та оперативного управління. На підставі проведеного огляду і аналізу відомих математичних моделей розроблено кілька варіантів математичної постановки задачі проектування постачальних, складальних і комбінованих маршрутів транспортних засобів для перевезення дрібнопартійних вантажів.

5. На підставі доведених тверджень запропоновано спосіб та ефективні алгоритми побудови довідкової матриці об'єднання дрібнопартійних потоків, що дозволяє визначати вузли об'єднання і об'єднані потоки для всіх пар вузлів, що кореспондуються в багатопродуктовій мережі. Доведена NP-повнота задачі оптимізації упаковки, яка використовується при сортуванні, та упаковки дрібнопартійних вантажів у контейнери у транспортних мережах або об'єднанні повідомлень у віртуальні контейнери в мережах передачі даних. Розроблено метод та ряд евристичних алгоритмів розв'язання задачі оптимізації упаковки. Отримано оцінки часової складності алгоритмів. Проведені експериментальні дослідження розроблених алгоритмів довели їх обчислювальну ефективність при розв'язанні практичних задач на мережах великої розмірності.

6. Доведено, що на етапі розв'язання задачі упаковки немає необхідності розв'язувати дискретну задачу вибору пропускних спроможностей дуг, а нелінійна функція транспортних витрат може бути замінена функцією питомої вартості транспортування блоків від відстані і вантажопідйомності транспортних засобів або пропускної здатності ліній зв'язку. Це доводять результати числового моделювання. Показано, що задача вибору пропускних спроможностей може бути розв'язана незалежно після розв'язання задачі упаковки і використовуватися при розв'язанні задачі розподілу і маршрутизації транспортних блоків.

7. Доведено, що задача вибору пропускних спроможностей дуг, сформульована як задача розпізнавання, є NP-повною. Наведено поліноміальне перетворення вихідної постановки задачі до задачі про ранець з мультिवибором і булевими змінними, для розв'язання якої запропоновано два псевдополіноміальних алгоритми, заснованих на апроксимації дискретних функцій витрат лінійними та на методі послідовного аналізу варіантів.

8. Запропоновано математичну модель і евристичний метод вирішення задачі вибору ієрархічної структури магістральної мережі, заснований на застосуванні алгоритмів упаковки і розподілу потоків у зональних мережах. Експериментально показано, що вибір структури мережі слабо залежить від пропускних здатностей її дуг і їх можна не враховувати при розв'язанні задачі.

9. Отримала подальший розвиток математична модель задачі розподілу і маршрутизації потоків транспортних блоків з упакованими дрібнопартійними кореспонденціями. Запропоновано метод зведення розв'язання вихідної нелінійної багатоекстремальної дискретної задачі до послідовного розв'язання деякої сукупності лінійних багатовимірних задач про ранець зі зв'язуючими обмеженнями і обмеженнями на час доставки дрібнопартійних кореспонденцій одержувачу і середній час затримки потоків. На основі ефективних структур представлення даних розроблено методи та поліноміальні за складністю алгоритми розв'язання перетвореної задачі, які можуть працювати в інтерактивному режимі і допускають

можливість параметричного завдання правих частин всіх обмежень і їх ослаблення у процесі розв'язування за неможливості розподілу потоків. Отримано оцінки часової складності алгоритмів. Доведено, що при формулюванні початкової задачі у вигляді задачі із заданими тарифами на дугах і у вузлах, вона може бути за поліноміальний час перетворена до задачі цілочислового лінійного програмування, для розв'язання якої можна застосовувати відомі методи і пакети програм цілочислового програмування.

10. Розроблена поліпшена версія раніше запропонованого автором алгоритму побудови всіх найкоротших шляхів у мережі за лексикографічним критерієм: мінімум дуг в шляху; мінімум довжини шляху. Доведено, що час роботи нового алгоритму може бути скорочено за рахунок застосування абстрактних типів даних і зменшення перегляду вузлів у внутрішніх циклах. Емпірично показано, що покращений алгоритм на розріджених мережах працює швидше раніше запропонованого і при збільшенні щільності мережі на кілька порядків перевищує за швидкістю роботи алгоритм Флойда, модифікований для побудови двокритеріальних шляхів.

11. Розроблена ефективна реалізація алгоритму Краскала для знаходження кістякового дерева мінімальної (максимальної) ваги для зв'язного неорієнтованого графа з практичною часовою складністю $O(e)$, де e – кількість ребер графа. На підставі проведених експериментальних досліджень отримана оцінка порівнянності швидкодії запропонованого алгоритму з алгоритмом Прима, з якої випливає, що для зв'язних графів запропонований алгоритм краще алгоритму Прима при $e \leq 0.27v^2$, де v – кількість вершин графа. Експериментальне порівняння швидкодії алгоритму Краскала із списковою і деревовидною структурою даних показало, що алгоритми із списковою структурою на практиці працюють швидше, ніж алгоритми з деревовидною структурою як на зв'язних, так і на незв'язних графах.

12. Запропоновано методику отримання вихідних даних для побудови динамічних моделей поетапного розвитку вузлів і транспортних маршрутів магістральної мережі, яка заснована на розв'язанні задач поточного планування. Розроблено методику та схему прийняття оперативних рішень у інформаційно-аналітичній системі підтримки прийняття рішень щодо стабілізації роботи магістральної мережі при перерозподілі потоків у випадках введення директивних обмежень на ієрархічну структуру і ресурси мережі, відмови окремих вузлів і ліній зв'язку, непередбачуваних ситуацій і стихійних лих.

Чисельне моделювання руху поверхневих і ґрунтових потоків та їх взаємодія на території водозбору (на здобуття наукового ступеня д.ф.-м.н.; науковий консультант чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук).

Робота П.С. Венгерського [18] присвячена побудові і дослідженню математичних моделей стоку води з поверхні водозбору у гідродинамічному та кінематичному наближеннях і ґрунтової води при плановій фільтрації та гідравлічному підході; створенню сумісної моделі взаємодії поверхневих і ґрунтових вод; формулюванню початково-крайових і варіаційних задач; обґрунтуванню стійкості і збіжності розроблених рекурентних схем; розробці нових ефективних інтервальних ітераційних методів розв'язання систем проекційних рівнянь; апробації алгоритмів розроблених методів на тестових прикладах; застосуванні новітніх геоінформаційних технологій для збору і візуалізації даних досліджень.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [4, с. 210–211; 19–25]:

1. Виходячи із загальних законів збереження кількості руху і маси шляхом їхнього усереднення за глибиною потоку та збереження усіх складових тензора напружень в рівняннях руху, запропоновано і обґрунтовано математичні моделі поверхневого стоку мілкої води у гідродинамічному підході і в наближенні кінематичної хвилі. Узагальнені і уточнені постановки початково-крайових та варіаційних задач.

2. Розроблено стабілізаційну схему методу скінченних елементів для дискретизованої в часі задачі поверхневого стоку у гідродинамічному наближенні при великих значеннях чисел Рейнольдса, яка базується на використанні функцій-бульбашок та методу найменших квадратів. Отримано верхню оцінку стабілізаційного множника цієї схеми для розв'язання варіаційної задачі рівнянь Нав'є – Стокса.

3. Виведено систему основних рівнянь фільтрації ґрунтової води із загальних законів збереження енергії, маси і стану рідини відносно невідомого вектора швидкості і густини потоку. Сформульовано постановки початково-крайової та варіаційної задач.

4. Розроблено уточнені постановки початково-крайових та варіаційних задач фільтрації ґрунтової води, виходячи з рівняння Бусинеска. Показано і обґрунтовано постановку задачі у випадку залежності коефіцієнта фільтрації від невідомої величини п'єзометричного тиску. Проведено лінеаризацію дискретизованої задачі в часі і використано ефективні методи для розв'язування системи проєкційних рівнянь.

5. Побудовано математичну модель сумісного руху поверхневих і ґрунтових вод. Для опису руху поверхневих потоків використано узагальнені рівняння Нав'є – Стокса і для ґрунтових – рівняння, виведені з гідравлічного підходу. Такий підхід дає змогу прийняти однакові гіпотези для спільного потоку. Враховуючи закони механіки суцільного середовища, з варіаційної постановки задачі виведено умови взаємодії поверхневої і ґрунтової води через спільну границю областей.

6. Розроблені чисельні схеми з використанням трикутних скінченних елементів для дискретизації задачі поверхневого стоку води у гідродинамічному наближенні за просторовими змінними з використанням кусково-лінійних апроксимацій для розходів потоків і кусково-постійних – для глибини та однокрокових рекурентних схем інтегрування в часі.

7. Побудовано чисельну схему методу скінченних елементів для знаходження розв'язків задачі поверхневого стоку у наближенні кінематичної хвилі. Для цієї схеми вибирались кусково-лінійні апроксимації для невідомої величини глибини. Наведено застосування методу лінеаризації для зведення дискретизованої задачі за часом до системи лінійних рівнянь. Доведено коректність поставленої варіаційної задачі та збіжність чисельної схеми. Для розв'язання проєкційної системи нелінійних рівнянь показано використання інтервального ітераційного методу Рунге, який для початкового наближення використовує проміжки поділу за часом.

8. Досліджено стійкість інтервального часу ітераційного методу типу Рунге, зумовлену збуреннями оберненого оператора і вибором початкових операторів в його апроксимаціях. Побудовано і досліджено один клас двосторонніх рекурсивних ітераційних методів типу Рунге. Розроблено і

досліджено клас інтервальних методів для розв'язання систем рівнянь з домінуючою діагоналлю.

9. Проведено аналіз результатів чисельного розв'язування побудованих математичних моделей. Проведено апробацію на тестових прикладах чисельної схеми розв'язування задачі сумісного руху поверхневих і ґрунтових потоків води. Показано порівняння результатів розв'язку лінеаризованої задачі про кінематичну хвилю і знаходження розв'язку системи нелінійних рівнянь інтервальними ітераційними методами.

10. Розроблено геоінформаційну систему для збору даних про характеристики водних потоків на вибраній території. Показано використання розроблених алгоритмів для обчислення швидкостей та глибини потоків. Проведено візуалізацію результатів роботи програм на реальних річкових системах водозборів.

Динамічні моделі статистичних експериментів, їх аналіз і моделювання (2016, на здобуття наукового ступеня д.ф.-м.н.; науковий консультант **чл.-кор.** (з 2018 р. – академік) **НАН України, д.ф.-м.н. С.О. Довгий**).

Робота **Д.В. Королюка** (докторант ІТГП у 2013–2016 рр.) [27] присвячена визначенню і обґрунтуванню ймовірнісних і статистичних властивостей динамічних статистичних експериментів; аналізу їх асимптоти; побудові класифікації моделей статистичних експериментів та розв'язанню статистичних проблем оптимізації оцінок параметрів цих моделей.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [2, с. 143–148; 4, с. 72–75; 5, с. 13–18; 28–40]:

1. Введено поняття статистичних експериментів, що визначається усередненими сумами вибірок величин.

2. Досліджена асимптотична поведінка статистичних експериментів (СЕ), при необмеженому зростанні об'єму вибірки, з урахуванням наявності рівноважного стану, що визначається еквілібріумом функції регресії приростів.

3. Встановлено закон великих чисел для СЕ: збіжність з імовірністю 1 до рівноважного стану.

4. Отримана апроксимація флуктуацій СЕ процесом нормальної авторегресії.

5. Встановлена збіжність за розподілом СЕ у дискретно-неперервному часі при різних умовах на функції регресії приростів, зокрема в залежності від стану зовнішнього середовища, що описується марківським процесом.

6. Встановлені умови стаціонарності (у широкому сенсі) для бінарних і мультиваріантних СЕ.

7. Встановлена сильна спроможність, а також оптимальність апіорної оцінки параметра передбачувальної компоненти.

8. Встановлені чотири основні моделі СЕ, що характеризуються різними граничними поведінками траєкторій.

9. Доведено, що стаціонарні гаусівські СЕ, при додатковій умові марковості, задаються розв'язком різницевого стохастичного рівняння, зі стохастичною компонентою, що породжується гаусівським мартингалом.

10. Наведено застосування математичної моделі дискретної марківської дифузії (ДМД) для опису механізмів біологічних макромолекул взаємодій.

11. Статистичні оцінки параметрів моделі ДМД V і σ^2 мають зручну форму як для реалізації обчислювальних процедур, так і для математичного опису механізмів колективних біологічних взаємодій. Представлена математична модель і її перевірка на модельованому наборі даних, отриманих на основі відомої моделі Стокса – Ейнштейна. Зокрема, чисельно згенеровані дані вимірювання сумішей частинок з двома значеннями коефіцієнта дифузії: $D1 = 10 \mu m^2 / sec$ і $D2 = 100 \mu m^2 / sec$.

12. Запропоновані апріорні оцінки параметрів ДМД на змодельованих даних демонструють їх адекватність, в порівнянні з теоретичними параметрами, які використовуються в моделюванні.

13. При аналізі даних для змішування частинок з різними коефіцієнтами дифузії, теоретичні параметри моделі V (регресія) і σ^2 (квадрат дисперсії стохастичної компоненти) мають квазілінійну дискримінаційну здатність до молярного визначення суміші фракцій.

Динаміка фундаментів на складних основах (2012; спеціальність 05.23.02 – основи і фундаменти; на здобуття наукового ступеня д.т.н.; науковий консультант **чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук**).

Робота **О.А. Савицького** [41] присвячена розробці і розвитку моделей системи “малозаглиблений фундамент – ґрунтова основа”, аналітичних і чисельних методів аналізу просторової динамічної взаємодії фундаментів з основою з урахуванням основних фізичних властивостей: пружності, інерційності, розповсюдження хвиль та загасання коливань у в'язкопружних, шаруватих, пористих пружних та пружнопластичних насичених рідиною середовищах, воді і елементах конструкцій та використанню запропонованих моделей і методів для розв'язку просторових задач динаміки системи “споруда – фундамент – ґрунт”, коливань вібромашин і сейсмостійкості споруд.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [42–50]:

1. Вирішено науково-технічну проблему розрахунків динаміки системи “споруда – ґрунтова основа” на базі моделювання взаємодії малозаглиблених фундаментів з основою при врахуванні теоретичного розподілу динамічної складової контактних напружень під фундаментом.

2. Розвинуто метод ортогональних поліномів для розв'язку просторових динамічних контактних задач при моделюванні динамічної взаємодії малозаглиблених фундаментів з ґрунтовою основою. Метод відрізняється використанням аналітичних розв'язків для переміщень площадки границі моделі основи під фундаментом і врахуванням теоретичних особливостей розподілу контактних напружень і порового тиску, що забезпечує ефективність методу. Динамічна реакція основи споруди при дії зовнішніх навантажень та коливань надбудови враховується в будь-який момент часу.

3. Використано ускладнені по відношенню до пружного півпростору хвильові динамічні моделі ґрунтової основи: в'язкопружної горизонтально-шаруватої основи, пористопружного насиченого рідиною півпростору (модель М. Біо), пористопружнопластичного насиченого рідиною середовища.

4. Розроблено методики розрахунків для дослідження динаміки морських гравітаційних платформ при їхній взаємодії з ґрунтом і з навколишнім водним середовищем при сейсмічних та техногенних діях. Для моделі

циліндричної конструкції з круглим у плані фундаментом на пружному півпросторі під шаром води при горизонтально-обертальних, горизонтальних та вертикальних коливаннях споруди встановлено закономірності зміни по частоті та в часі переміщень і прискорень, реакції основи, гідродинамічної реакції при коливаннях циліндра, моменту в пружному стрижні (модель циліндричної надбудови) на рівні з'єднання надбудови з фундаментною плитою залежно від характеру динамічного навантаження, пружності основи, інерційних і деформівних властивостей циліндра й основи, висоти шару рідини. При усталених горизонтальних коливаннях помітні уточнення дає врахування взаємодії з шаром води, що значно змінює резонансну частоту, збільшує резонансні амплітуди коливань деформівного циліндричного корпусу. При збільшенні гнучкості циліндра вплив води збільшується. Збільшення маси циліндра зменшує переміщення. Шар води зменшує резонансну частоту та збільшує амплітуду коливань моменту у вправлянні стрижня у фундамент. Взаємодія з основою знижує прискорення підшви споруди відносно акселерограми площадки. Максимальні прискорення зменшуються зі збільшенням висоти шару води. Досліджено також зміну в часі переміщень та моменту при дії раптово прикладеної постійної горизонтальної сили на верх циліндра. Кількісні співвідношення встановлюються при розрахунках.

5. Виконано постановку задач про вертикальні і горизонтально-обертальні коливання жорсткого прямокутного в плані штамп на в'язкопружному горизонтально-шаруватому середовищі, отримано інтегральні рівняння відповідних динамічних контактних задач, які методом ортогональних поліномів зведені до систем нескінченних алгебраїчних рівнянь. Розроблено ефективні методики обчислення коефіцієнтів систем у вигляді невласних подвійних інтегралів від складних комплексних функцій.

6. Досліджено вертикальні і горизонтально-обертальні коливання штампа на в'язкопружному шаруватому середовищі при гармонічних та нестационарних діях. Розглянуто вплив механічних характеристик шаруватої основи на переміщення і прискорення штампа, реакції основи. Врахування в'язкості по моделі частотно-незалежного внутрішнього тертя забезпечує виконання умов випромінювання, значно спрощує обчислення подвійних інтегралів і проявляється у зниженні переміщень штампа і збільшенні модуля реакції на власних частотах системи та резонансних частотах шаруватої основи. Висота в'язкопружного шару, при якій при вертикальних коливаннях помітні резонанси, не перевищує 4-х ширин квадратного штампа. При горизонтальних сейсмічних коливаннях прояв ефектів шаруватості є незначним. Кількісні співвідношення встановлюються при розрахунках.

7. Виконано моделювання взаємодії вібростанини з шаруватою в'язкопружною ґрунтовою основою. Досліджено вплив маси вібростанини та шаруватості основи на амплітудно-частотні характеристики. Результати розрахунків вимушених усталених коливань системи штамп – в'язкопружний шар показують, що при збільшенні маси штампа власні частоти зменшуються, для масивного штампа характер коливань визначається в основному власною частотою системи, а при зменшенні маси штампа знижується прояв резонансів.

8. Підтверджено достовірність отриманих розрахункових результатів задовільною узгодженістю з експериментальними даними інших авторів для

усталених коливань вібротомашин (частоти з максимальною амплітудою переміщень) та вільних коливань масивних блоків на ґрунтовій основі (зміна горизонтальних переміщень в часі) і співпадінням з відомими аналітичними та чисельними результатами в граничних випадках.

9. Отримано аналітичні вирази для динамічних переміщень границі двофазного пористопружного насиченого рідиною півпростору (модель М. Біо) при дії розподілених навантажень на обидві фази на прямокутній площадці границі.

10. Виконано постановку задачі про вертикальні коливання жорсткого прямокутного в плані штампа з непроникною для порової рідини підшовою на пористопружному насиченому рідиною півпросторі, отримані інтегродиференційні рівняння динамічної контактної задачі. Розроблено новий чисельно-аналітичний метод розв'язку задачі методом ортогональних поліномів. Створено ефективну методику обчислення коефіцієнтів розв'язувальної системи лінійних алгебраїчних рівнянь як невластних подвійних інтегралів від складних комплексних функцій зі складною залежністю від частоти.

11. Встановлено закономірності зміни імпедансу і реакції основи під непроникним штампом в залежності від: частоти коливань, розмірів підшви штампа і його маси, проникності (коефіцієнта фільтрації) середовища. Розділення складових імпедансу твердої і рідинної фаз дозволило пояснити суттєву відмінність жорсткості двофазної основи від пружної однофазної. Жорсткість твердого скелету змінюється пропорційно жорсткості пружної основи, а складова жорсткості рідинної фази приймає зі збільшенням частоти протилежний знак. При дії гармонічної сили постійної амплітуди на масивний штамп присутність порової рідини і взаємодія фаз знижує максимальну амплітуду реакції і збільшує реакцію при подальшому рості частоти. При низьких частотах реакція твердої фази більша за реакцію порової рідини. Фаза загальної реакції і реакції порової рідини співпадають. Зі збільшенням величини коефіцієнта фільтрації збільшується доля твердої фази в реакції основи при низьких частотах і на частоті максимуму реакції.

12. Розглянуто поведінку водонасиченого ґрунту з урахуванням пластичних деформацій твердого скелету при зміні напруженого стану під дією горизонтальної компоненти акселерограми. Методом скінченних елементів (пласка деформація) оцінюється зміна порового тиску під час сейсмічної дії на шар ґрунту внаслідок горизонтально-обертальних коливань споруди від нестационарних коливань ґрунту та її ваги. Застосовано модель пористопружнопластичного насиченого рідиною середовища, яка побудована на системі рівнянь М. Біо і моделі Пастора – Зенкевича для врахування пластичної течії скелету ґрунту. При сейсмічній дії в області пластичних деформацій під спорудою виникає приріст порового тиску. Результати обчислень свідчать про зниження коливань в нелінійній моделі порівняно з лінійною.

13. З використанням створеного комплексу комп'ютерних програм проведені розрахунки сейсмічних прискорень споруди блоку ЧАЕС з урахуванням взаємодії з ґрунтом (в'язкопружна та водонасичена основи) при дії заданих синтезованих для площадки ЧАЕС акселерограм. Вивчено вплив швидкості пружних поперечних хвиль у ґрунтовій основі на трансформацію вихідної акселерограми землетрусу для споруд. Згідно з розрахунками

прискорення споруди при високій швидкості поперечної хвилі в ґрунті (до 500 м/с) можуть перевищувати максимальне прискорення вихідної акселерограми майже в 2 рази, а при невеликих швидкостях (100 м/с) можуть зменшуватися в 2–3 рази. Для водонасиченої основи встановлено відмінності спектральної щільності вихідних і розрахункових акселерограм у сейсмічному діапазоні частот.

14. Розроблено нову чисельно-аналітичну методику порівняння моменту на валу двигуна вібромашини та вібраційного моменту від гармонічних коливань системи “штамп – шарувата основа”. Вібраційний момент зростає при збільшенні маси вібромашини та зменшенні товщини шару ґрунту на жорсткій основі. В околі власної частоти системи цей момент може перевищувати момент на валу двигуна, при цьому усталені коливання системи будуть неможливі в деяких діапазонах частот (ефект Зоммерфельда – Кононенка).

Математичне моделювання зсувної небезпеки в умовах підтоплення та сейсмічних впливів (2010 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук**).

Робота **Г.С. Глебчук** [51] присвячена створенню ефективних програмних засобів комп'ютерної реалізації оцінки зсувної небезпеки локального та регіонального рівнів на основі системного поєднання математичного моделювання та ГІС-технологій.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [52–59]:

1. Проведено аналіз існуючого інформаційного матеріалу і програмно-технічних розробок в галузі математичного та комп'ютерного моделювання, ГІС-технологій зі створення моделей відображення зсувних процесів локального та регіонального рівнів, який включає розробку рекомендацій щодо запобігання і локалізації розвитку зсувів та інженерного захисту зсувонебезпечних схилів на великих територіях на основі використання ГІС-технологій, а також окремих ділянок міських територій, передусім тих, що відводяться під забудову, або існуючих будівель і споруд.

2. За допомогою математичного та чисельного моделювання з використанням нелінійного програмування розв'язана обернена задача механіки ґрунтів відносно ідентифікації фізико-механічних характеристик ґрунту, з якого складається зсув.

3. Розроблено математичну модель, алгоритм, програму розрахунку напружено-деформованого стану схилів, а також автоматизоване робоче місце із графічним інтерфейсом, написано і відредаговано програму LANDSLIP07 на базі „візуального програмування”. За основу для розроблення програми було взято мову JAVA і операційне середовище UNIX. Програма LANDSLIP07 дає змогу моделювати напружено-деформований стан схилів при підтопленні, землетрусах та інженерній підготовці території.

4. Узагальнено і проведено математичне моделювання зсувної небезпеки схилу за наявності таких умов: підвищення рівня ґрунтових вод; зміни сейсмічності ділянки будівництва; в результаті системної дії двох факторів: сейсміки і води; за наявності будівлі та при облаштуванні котловану за умови відсутності ґрунтових вод або підвищення їх рівня.

5. Установлено, що у випадку, коли схил перебуває у стані стійкої рівноваги, зсувний тиск симетрично розподілений, має параболічну форму; у міру збільшення навантажень (у вигляді підтоплення, сейсмічних впливів, їх

поєднання) схил переходить у стан граничної рівноваги. Відбувається перерозподіл напруг, відносно симетричний розподіл зсувного тиску поетапно змінюється несиметричним. Стан граничної рівноваги схилу, що досліджується, досягається в разі виконання однієї з умов: обводнення схилу становить 15%~33%; сейсмічність ділянки – 7–8 балів; сейсмічність – до 7 балів, обводнення схилу – до 15 %. При подальшому збільшенні навантажень відбувається перехід зсувного схилу із стану граничної рівноваги у нестійкий стан. Нестійкий стан досягається за наявності у схилі: обводнення, що становить 33%~66%; сейсмічності ділянки – 9 балів і вище; сейсмічності у 7 балів та обводненні схилу – 33%. Зміна епюри зсувного тиску за наявності двох факторів впливу відбувається більш інтенсивно, швидше зникає симетрія напружено-деформованого стану схилу.

6. Створено базу даних, яка має інформаційно-довідковий характер відносно 52 паспортів зсувних ділянок Харківської області стислої форми та даних відносно суми опадів по метеостанціях Харківської області за 20 років (1983–2002 рр.). Визначено зсувонебезпечні схили на території Харківської області, побудовані відповідні карти, діаграми та таблиці даних. Показано роль різних факторів у розвитку і активізації зсувів.

Обчислювальні технології моделювання аеродинамічних процесів (2012 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **к.ф.-м.н. Д.І. Черній**).

Робота **А.Д. Головенка** [60] присвячена розробці обчислювальних технологій моделювання аеродинамічних процесів для моделюючих систем інженерно-технологічного призначення.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [61–64]:

1. Розроблено метод побудови математичної та чисельної моделі окремої споруди та системи споруд, який забезпечує представлення результатів моделювання відривного обтікання споруд в заданих перерізах.

2. Вперше розроблено метод комплексної автоматизованої обробки даних, що враховує геометричні параметри окремої споруди або системи споруд та фізичні особливості аеродинамічного процесу поблизу границь складної геометрії для визначення критеріїв просторово-часової дискретизації, при чисельному розв'язанні початково-крайових задач аеродинаміки методом дискретних особливостей. Метод забезпечує просторове розташування числових моделей споруд в області дослідження, формування двовимірного представлення тривимірних аеродинамічних ефектів.

3. Побудовано удосконалені чисельні математичні моделі розвитку відривних аеродинамічних процесів в області із границею складної геометрії, в частині взаємодії непроникних рухомих границь та нерухомих і рухомих вільних границь, які апроксимують вихрові шари при моделюванні відривних явищ.

4. Вперше, на основі методу дискретних особливостей, розроблено чисельну модель для обчислення поля тиску в геометрично складній області течії при обтіканні контурів довільної геометрії. За допомогою удосконаленої чисельної моделі вдалося відокремити домінуючі впливи відривної течії біля контуру та вперше виявити складові причини ефекту підвищення значень миттєвих динамічних характеристик на границі області відривної нестационарної течії.

5. Вперше розроблено модель визначення станів аеродинамічного процесу, їх термінів та вибору домінуючого тривалого режиму відривного обтікання споруд при його моделюванні із застосуванням методу дискретних особливостей.

6. Створено обчислювальну технологію функціонування автоматизованої програмно-моделюючої системи з елементами інтелектуального інтерфейсу, придатну для застосування у моделюючих системах інженерно-технологічного призначення.

7. Виділено основні обмеження на застосування математичних моделей, побудованих на основі методу дискретних особливостей, для задач, пов'язаних з аеродинамічним впливом на споруди та комплекси споруд. Виявлені геометричні умови для чисельного представлення відривних течій в термінах методу дискретних особливостей. Виявлені умови можливості розпаралелювання при застосуванні методу дискретних особливостей для збільшення швидкодії обчислювальної технології. Визначено межі застосування чисельних моделей в залежності від геометричних та динамічних параметрів задачі.

Математичне моделювання та моніторинг зсувних масивів (2017, на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук).

Робота **О.А. Клименкова** [65] присвячена математичному моделюванню та моніторингу напружено-деформованого стану зсувонебезпечних масивів і розташованих на них будівель і споруд в умовах сейсмічних впливів.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [66–71]:

1. Систематизовані та узагальнені наявні дані щодо чисельних методів математичного моделювання напруженого стану зсувонебезпечних масивів та напружено-деформованого стану будівель і споруд за I та II групами граничних станів, за програмними комплексами LANDSLIP та LIRA; по моніторингових інформаційно-аналітичних системах та ін.

2. Удосконалено методи врахування динамічних впливів різної інтенсивності для моделювання стійкості схилів за першою групою граничних станів (моделі Маслово-Берера та Шахунянца), що потім були алгоритмізовані в новій версії програми LANDSLIP, яка додатково на статистичній основі визначає найбільш вірогідну поверхню ковзання зсуву і вирішує обернену задачу напруженого стану зсувонебезпечних масивів для фізико-математичних характеристик ґрунтів (до 10), що складають зсувонебезпечні масиви.

3. Верифікація розроблених методів була виконана для двох практичних прикладів об'єктів будівництва в умовах щільної міської забудови на зсувонебезпечних масивах при сейсмічних навантаженнях 8 балів. Математичне моделювання напружено-деформованого стану стінок котлованів та протизсувних споруд проведено за допомогою програмних комплексів LANDSLIP та LIRA. Геотехнічний аналіз напружено-деформованого стану протизсувних споруд в програмному комплексі LIRA показав, що міцність і жорсткість запропонованих споруд достатня для прийняття тиску ґрунту при розробці котлованів на різних етапах, а максимальні горизонтальні деформації конструкцій зіставні зі значеннями, отриманими в ході натурних спостережень. Експериментально заміряні максимальні вертикальні деформації ґрунтового масиву основи по одному з

об'єктів не перевищують 6,5 мм. За навколишньою територією велося спостереження, та встановлені на протизсувних спорудах котлованів контрольні марки за час будівництва практично не мали деформацій.

4. На основі обробки результатів системи моніторингу “Sensor-M” доведено, що південно-східне крило Лівадійського Палацу (ЛП) здійснює повільні коливання відносно деякого середнього положення. В окремих випадках фіксувалося збільшення кута нахилу ЛП до 6 кутових хвилин. Причинами добових коливань ЛП можуть бути перепади денної і нічної температур. Причинами збільшення амплітуди відхилення фасаду будівлі ЛП від середнього положення можуть бути рясні опади і пов'язане з ними тимчасове підвищення рівня ґрунтових вод та фільтраційного тиску на схили; подальша зсувна активізація Центральної Лівадійської зсувної системи (ЦЛЗС); природні та техногенні динамічні впливи. У результаті розрахунків отримано, що зміна фізико-математичних характеристик ґрунтів, що спричиняє зменшення стійкості схилів ЦЛЗС, є визначальним фактором тріщиноутворення у фундаментах, підлозі і стінах ЛП.

5. Математичне моделювання зсувонебезпечних масивів ЦЛЗС виявило тенденцію розвитку трьох локальних зсувів, розташованих нижче палацу. Прогнозується, що ЛП і прилегла з південного сходу територія через 2–4 роки опиняться в зоні інтенсивного тріщиноутворення, а в 2019–2021 рр. – в зоні активних зсувних зміщень. Локальні зсуви будуть вільно розширюватися (прогресивно і регресивно) і об'єднуватися в просторі, формуючи тим самим єдиний великий зсув по всій території ЦЛЗС в межах «Східного» і частини «Західного» зсувів вже в 2017–2018 рр. Збільшення зволоження ґрунту, гідрогеодеформаційних навантажень сейсмічних полів можуть радикально змінити напружено-деформований стан ЦЛЗС та зруйнувати палац.

Математичне моделювання обтікання ротора з вертикальною віссю та керованими лопатями (2013, на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **чл.-кор.** (з 2018 р. – **академік**) **НАН України, д.ф.-м.н. С.О. Довгий**).

Робота **О.Г. Лебідя** [72] присвячена дослідженню і розвитку методів математичного та комп'ютерного моделювання, обчислювальних методів і технологій, призначених для дослідження і створення об'єктів нової техніки в галузі вітро/гідроенергетики.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [73–79]:

1. Розроблено модель нестационарно-відривного обтікання тонкого профілю зі скругленою передньою кромкою при його нестационарному обтіканні динамічно змінним потоком.

2. Розроблено нелінійну модель нестационарної циркуляційної течії в області довкола ротора з вертикальною віссю та керованими лопатями, яка враховує динамічну зміну зв'язності області течії.

3. Удосконалено чисельно-аналітичну модель обчислення поля тиску в області змінної зв'язності, що дозволяє визначати як миттєві розподілені аерогідродинамічні характеристики на кожній лопаті, так і усереднені інтегральні аерогідродинамічні характеристики ротора в цілому.

4. Розроблено математичну модель управління лопатями, яка суттєво покращує енергоефективність ротора з вертикальною віссю та істотно розширює діапазон швидкостей потоку для його експлуатації.

5. Вперше виявлено кількісні та якісні закономірності формування і еволюції сліду за ротором з керованими лопатями, визначено умови виникнення когерентних вихрових структур.

6. Виявлено та підтверджено за результатами натурального і напівнатурного моделювання ефект покращення динамічних характеристик ротора з вертикальною віссю при керуванні його лопатями. Для створених натурних і напівнатурних моделей розроблено закони керування лопатями, що суттєво підвищують енергоефективність ротора в практично актуальному низькошвидкісному діапазоні коефіцієнта швидкохідності.

Математичне моделювання кінематики руслового потоку при обтіканні донних гряд (2014, на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник д.т.н. Д.В. Стефанишин).

Робота **Я.В. Ходневича** (аспірант ІТГП у 2010–2013 рр.) [80] присвячена розвитку методів математичного та чисельного моделювання, призначених для ефективного дослідження кінематики руслового потоку при обтіканні донних гряд.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [81–84]:

1. Проаналізовано сучасні математичні методи та моделі для дослідження турбулентних водних потоків при високих числах Рейнольдса. Показано, що більшість чисельних схем та алгоритмів для дослідження розвинутих турбулентних потоків ґрунтуються на розв'язанні осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є – Стокса, що замикаються деякою моделлю турбулентності. Доведено, що найбільш прийнятною з практичної точки зору для чисельного моделювання кінематики розвинутої турбулентної течії є $k - \varepsilon$ модель турбулентності. Вона характеризується стійким ітераційним процесом та прийнятною точністю.

2. Здійснено гідродинамічний опис потоку в руслі за допомогою його одновимірної, двовимірної та тривимірної математичних моделей. На засадах системного підходу запропоновано алгоритм поетапного дослідження кінематики руслового потоку при обтіканні донної гряди: 1) обчислення рівнів вільної поверхні для одновимірної моделі; 2) моделювання плану течії; 3) моделювання поля швидкостей та тисків турбулентної течії у локальній тривимірній області.

3. Розроблено чисельні моделі для обчислення рівнів вільної поверхні та моделювання плану течії. Показано, що точність усереднених значень швидкості потоку, які отримуються в рамках одновимірної та двовимірної моделей гідродинаміки, є достатньою на етапі чисельного розв'язання тривимірної задачі.

4. Удосконалено математичну модель кінематичних характеристик тривимірного турбулентного водного потоку в локальній області за русловою грядою. Модель ґрунтується на системі рівнянь Рейнольдса, яка замикається за допомогою $k - \varepsilon$ моделі турбулентності. При цьому поетапно застосовуються стаціонарні та нестаціонарні рівняння Рейнольдса. Доведено, що такий підхід дозволяє вирішити проблему стійкості розв'язків системи рівнянь Рейнольдса.

5. Розроблено чисельну модель для оцінки наближених значень поля швидкостей та тисків турбулентного водного потоку в локальній тривимірній області за донною грядою, яка забезпечує стійкість розв'язків рівнянь Рейнольдса, зменшення тривалості обчислень та економію пам'яті

комп'ютера. Для поетапного обчислення гідродинамічного тиску в тривимірній локальній області застосовано рівняння Пуассона. Для згладження наближеного поля швидкостей та тисків у вузлах згущеної рівномірної сітки застосовано інтерполяцію кубічними сплайнами.

6. Удосконалено чисельний метод LU – розкладання для випадку ефективного розв'язання класу великих розріджених систем лінійних рівнянь, які є різницеvim аналогом стаціонарних диференціальних рівнянь Рейнольдса.

7. Здійснено верифікацію чисельної моделі для оцінки кінематики водного потоку у локальній тривимірній області. Показано, що обчислені значення швидкостей водного потоку достатньо добре наближаються до даних аналітичних розв'язків та експериментальних вимірів швидкості за донною перешкодою.

8. Вперше побудовано залежність інтенсивності місцевого розмиву русла від кута розташування і висоти донної перешкоди, виявлені режими найбільш інтенсивного розмиву дна. Встановлено за результатами імітаційного моделювання сил опору дна, що при висоті донної гряди, яка дорівнює $1/3$ глибини потоку, найбільш потужні деформації русла можуть відбуватися при її розташуванні під кутом $35\text{--}40$ градусів до набігаючого потоку.

Математичне моделювання та оптимізація конструкції теплообмінника змієвикового типу (2016, на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук**).

Робота **І.Г. Шитікової** [85] присвячена дослідженню і розробці математичних моделей, чисельних методів розрахунку процесу тепломасообміну та оптимізації ефективних рішень конструкції теплообмінних апаратів для незалежної системи опалення та гарячого водопостачання.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [5, с. 120–121; 86–89]:

1. На основі аналізу існуючих конструкцій теплообмінних апаратів і теплообмінників різного типу обґрунтовано висновок, що запропоновані в роботі нові трьохконтурні змієвикові теплообмінники з акумулюючою ємністю ефективніші за існуючі і для широкого впровадження потребують розробки математичних моделей, чисельних методів розрахунку процесу тепломасообміну та оптимізації ефективних рішень побудови їхніх конструкцій.

2. Розроблено статичні математичні моделі теплообмінників змієвикового типу для незалежних місцевих систем опалення та гарячого водопостачання від індивідуального теплового пункту з підігрівально-акумуляторною установкою, на основі яких запропоновано математичну модель загального розрахунку конструктивних параметрів теплообмінних апаратів.

3. Запропоновано математичні моделі нових конструкцій трьохконтурних теплообмінників з паралельним і послідовним розташуванням змієвоків, що в рамках імітаційного моделювання дає можливість оптимізувати конструктивні параметри і режими роботи теплообмінних апаратів.

4. Побудовано алгоритм імітаційного моделювання, який дозволяє, на відміну від існуючих, моделювати широке коло тепломасообмінних процесів

з графічною інтерпретацією отриманих результатів і дозволяє оптимізувати параметри теплообмінних апаратів в інтерактивному режимі, а саме визначити рекомендації щодо їх водопостачання і номінальні температурні показники в контурах опалення і гарячого постачання води при їх використанні в житловому комунальному господарстві.

5. Розроблена чисельна процедура параметричної ідентифікації математичних моделей теплообмінних апаратів в стаціонарних режимах роботи, яка базується на методах Ньютона-Рафсона і послідовних наближень та ϵ , на відміну від існуючих, ефективним практичним інструментом для оптимізації конструктивних параметрів теплообмінних апаратів.

6. Побудовано і досліджено натурний дослідно-експериментальний стенд підігрівально-акумуляторної установки з теплообмінником змієвикового типу. Визначено оптимальні розміри загальної конструкції підігрівально-акумуляторної установки з трьохконтурним теплообмінником для індивідуальних теплових пунктів для забезпечення стабільного ефективного тепломасообміну. Оптимальна довжина підігрівально-акумуляторної установки складає від 2,2 до 3,0 м. Такі конструкції підігрівально-акумуляторної установки дозволяють приєднувати до теплової мережі будівлі підвищеної поверховості. Це підвищує стійкість і надійність системи централізованого теплопостачання при експлуатації і згладжує пікові навантаження на графіку добового водоспоживання в системі гарячого водопостачання.

7. Доведено, що, використовуючи нову конструкцію змієвикового теплообмінника для систем індивідуального або централізованого теплопостачання від індивідуального теплового пункту з підігрівально-акумуляторною установкою, можна добитись збільшення теплопродуктивності за рахунок інтенсифікації теплообміну при одній і тій самій поверхні нагріву змієвиків для незалежних систем опалення і гарячого водопостачання. Оптимізовано діаметр трубки змієвика гарячого водопостачання до 8 мм, що зменшує металоємність контуру і залишає нормативною температуру 55°C при незмінній температурі гріючого контуру 80°C .

Висновки

Необхідно особливо відмітити результати, опубліковані в міжнародних журналах: «Journal of Automation and Information Sciences» **A.N. Trofymchuk**, **V.A. Vasyanin** [16]; там же **V.A. Vasyanin** [17]; «International Journal of Engineering Sciences and Research Technology» **P. Venherskyi** [20]; «International Journal of Engineering Sciences and Research Technology» **P. Venherskyi**, H. Shynkarenko [21]; «Eureka: physics and engineering. Computer sciences and mathematics» **P. Venherskyi**, Y. Kokovska [23]; «Interval Computations» P. Senio, **P. Vengersky** [24]; «Journ. of Theor. Probab» **D. Koroliuk** [28]; «Disease Makers» **D. Koroliouk** etc. [29]; «Journ. of Computat. and Applied Math.» **D. Koroliuk** [30]; «Journ.of Computat. and Applied Math.» Bertotti M.L., **Dovgyi S.O.**, **Koroliouk D.** [37]; «Statistics, Optimization and Information Computing» **Koroliouk D.**, etc [39]; «International Journal of Fluid Mechanic Research» V. P. Kayan, V.A. Kochin, **O.G. Lebid** [79]; «Zeszyty Naukowe Inzynieria Ładowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska»

Y.V. Khodnevich, D.V. Stefanyshyn [83]; «Journal of Energy and Power Engineering» **Shytikova I., Trofymchuk O., Oleksiuk A.** [87].

Також необхідно відмітити результати, що доповідались на міжнародних наукових конференціях: у Чорногорії, 2015 р., **O. Trofymchuk, L. Ushakova, V. Vasyanin** [90]; у Німеччині, 1996 р., **P.S. Vengersky, P.S. Senyo** [91]; у Чехії, 2014 р., **P. Venherskyi, M. Bartish** [92]; у Чехії, 2016 р., **P. Vengerskyi, O. Trofymchuk, Y. Kokosova** [93]; у Франції, 2002 р., **O. M. Trofymchuk, O. M. Gomilko, O. A. Savitsky** [94]; у Японії, 2016 р., **O. Trofymchuk, I. Kaliukh, O. Klimenkov** [95]; у Єгипті, 2010 р., **S.O. Dovgy, V. P. Kayan, O.G. Lebid** [96]; у Хорватії, 2011 р., **Lebid O.** [97].

Окремо слід відзначити, що деякі з наведених результатів вже стали об'єктами права інтелектуальної власності. Зокрема це результати, що увійшли до докторської роботи **В.О. Васяніна** [98–102] та кандидатських робіт **Г.С. Глебчук** [103], **О.Г. Лебідя** [104], **І.Г. Шитікової** [105–108].

Автори висловлюють подяку **Л.В. Зотовій** за надані матеріали під час підготовки рукопису статті та не можуть не відзначити її постійну технічну допомогу всім здобувачам при проведенні захистів у Спеціалізованій Вченій Раді Д 26.255.01 при ІТГП НАНУ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Історія Академії наук України 1918-1923: документи і матеріали / відп. ред. П.С. Сохань. Київ: Наук. Думка, 1993. – 375 с.
2. XIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» – Київ, 2014 – 340 с.
3. XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» – Київ, 2015 – 428 с.
4. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Матеріали 15-ї Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, Пуща-Водиця, 03-06 жовтня 2016 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2016. – 258 с.
5. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях / Колективна монографія за матеріалами 16-ї міжнародної науково-практичної конференції (Київ, Пуща-Водиця, 03-04 жовтня 2017 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2017. – 252 с.
6. Васянін В.О. Методологія проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками: автореф. дис. докт. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2017. 44 с.
7. Васянін В.А. Задачи построения комбинированных и отдельных маршрутов перевозки мелкопартионных грузов во внутренних зонах иерархической автотранспортной сети / В.А. Васянін // Математичне моделювання в економіці. – 2017. – № 1 – 2. – С. 74–92.
8. Васянін В.А. Задачи построения доставочных и сборочных маршрутов перевозки мелкопартионных грузов во внутренних зонах иерархической автотранспортной сети / В.А. Васянін, Л.П. Ушакова // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – № 3–4. – С. 102–131.

9. Васянин В.А. Экономико-математические модели задачи распределения потоков в многопродуктовой коммуникационной сети / В.А. Васянин, А.Н. Трофимчук, Л.П. Ушакова // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – No 2. – С. 5–21.
10. Васянин В.А. Компьютерное моделирование распределения и маршрутизации дискретных многопродуктовых потоков в коммуникационной сети / В.А. Васянин // Управляющие системы и машины. – 2016. – No 3. – С. 43–53.
11. Трофимчук А.Н. Компьютерное моделирование иерархической структуры коммуникационной сети с дискретными многопродуктовыми потоками / А.Н. Трофимчук, В.А. Васянин // Управляющие системы и машины. – 2016. – No 2. – С. 48–57.
12. Трофимчук А.Н. Алгоритмы оптимизации упаковок мелкопартионных корреспонденций в коммуникационных сетях / А.Н. Трофимчук, В.А. Васянин, В.Н. Кузьменко // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – Т. 52. – No 2. – С. 93–106.
13. Трофимчук А.Н. О сложности одной задачи оптимизации упаковок / А.Н. Трофимчук, В.А. Васянин, В.Н. Кузьменко // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – Т. 52. – No 1. – С. 83–92.
14. Трофимчук А.Н. Время работы алгоритма Краскала с древовидной и списочной структурой данных / А.Н. Трофимчук, В.А. Васянин // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – No 3. – С. 48–61.
15. Васянин В.А. Балансировка матрицы контейнерных потоков в задаче перевозки мелкопартионных грузов / В.А. Васянин, Л.П. Ушакова // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. – Київ, 2015. – Вип. 17. – С. 98–115.
16. Trofimchuk A.N. Simulation of Packing, Distribution and Routing of Small-Size Discrete Flows in a Multicommodity Network / A.N. Trofimchuk, V.A. Vasyanin // Journal of Automation and Information Sciences. – 2015. – Vol. 47. – Issue 7. – P. 15–30.
17. Vasyanin V.A. Problem of Distribution and Routing of Transport Blocks with Mixed Attachments and Its Decomposition / V.A. Vasyanin // Journal of Automation and Information Sciences – 2015. – Vol. 47. – Issue 2. – P. 56–69.
18. Венгерський П.С. Чисельне моделювання руху поверхневих і ґрунтових потоків та їх взаємодія на території водозбору: автореф. дис. докт. фіз.-мат. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача, 2017. 36 с.
19. Венгерський П.С. Аналіз різних підходів для опису математичних моделей фільтрації рідини в насиченій зоні ґрунту / П.С. Венгерський, О.М. Трофимчук // Математичне моделювання в економіці. – 2016. №2(6). – С. 36–52.
20. Venherskyi P. Numerical modelling of shallow water flow in hydrodynamic approximations / P. Venherskyi, V. Trushevskyi // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2014. – №2(116). P. 152–166.
21. Venherskyi P. Investigation of the Properties of Solution of Variatiol Problem Coupled Flow of Surface and Groundwaters / P. Venherskyi, H. Shynkarenko // International Journal of Engineering Sciences and Research Technology. 2016. Vol.5, Issue 11. – P. 399–403.
22. Венгерський П.С. Чисельне дослідження енергетичних рівнянь варіаційної задачі сумісного руху поверхневих і підземних водних потоків на водозборі / П.С. Венгерський, Г.А. Шинкаренко // Математичне моделювання в економіці. – 2016. №3–4(7). – С. 132–145.
23. Venherskyi P. Investigation of the stability for established flows in open pseudoprismatic channels / P. Venherskyi, Y. Kokovska // Eureka: physics and engineering. Computer sciences and mathematics. – 2016. Vol. 5. – P. 9–15.
24. Senio P. Solving systems of special form nonlinear equations by of some modifications of Runge type interval iterative method / P. Senio, P. Vengersky // Interval Computations. – 1992. – Vol. 4(6). P. 59–65.
25. Венгерський П.С. Рівняння поверхневого потоку в наближенні кінематичної хвилі для русел з нерівномірним дном / П.С. Венгерський, В.М. Кирилич, Я.В. Коковська // Прикладні проблеми механіки і математики. – 2016. – Вип. 14. – С. 31–36.

26. Венгерський П.С. Комп'ютерний аналіз та моделювання потоків рідини в річках з використанням web-аплікацій з GIS-компонентою на основі ArcGIS Server`а / П.С. Венгерський, О.М. Трофимчук // Екологічна безпека та природокористування: зб.наук.праць. – Київ, 2016, – №1–2(21). – С. 5–15.
27. Королюк Д.В. Динамічні моделі статистичних експериментів, їх аналіз і моделювання: автореф. дис. докт. фіз.-мат. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова, 2016. 39 с.
28. D. Koroliuk. Stopping times for quantum Markov chains L. Accardi, D. Koroliuk // Journ. of Theor. Probab. – 1992. – Vol. 5. – Issue 3. – С. 521–535. DOI: 10.1007/BF01060433
29. Koroliouk D. DNA HLA-DRB1 analysis in children of positive mothers and estimated risk of vertical HIV transmission / Greggio N.A., Cameran M., Giaquinto C., Zacchello F., Koroliouk D., Colizzi V. // Disease Makers. – 1993. – №11. – С. 29–35.
30. Koroliuk D. The dynamics of recurrent statistical experiments with persistent non-linear regression and equilibrium // Journ. of Computat. and Applied Math. – 2013. – т. 113, №3. – С. 26–35.
31. Королюк Д.В. Двокомпонентні бінарні статистичні експерименти з наполегливою нелінійною регресією // Теорія ймовір. та матем. статист. – 2015. – Вип. 91. – С. 64 – 73.
32. Королюк Д.В. Мультиваріантні статистичні експерименти з наполегливою лінійною регресією і еквілібріумом // Теорія ймовір. та матем. статист. – 2015. – Вип. 92. – С. 71–78.
33. Королюк Д.В. Бінарні статистичні експерименти з наполегливою лінійною регресією у марківському випадковому середовищі // Доповіді НАНУ. – 2015. – №4. – С. 12–17.
34. Koroliouk D. Stationary statistical experiments and the optimal estimator for a predictable component // Укр.Мат.Вісник. – 2016. – т.214, №2. – С. 220–228.
35. Королюк Д.В. Классификация бинарных детерминированных статистических экспериментов с настоящей регрессией // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – т.51. – №4. – С. 163–168.
36. Королюк Д.В. Задача о выходе из интервала дискретной марковской диффузии // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – т.52. – № 4. – С. 83–89.
37. Koroliouk D. Dynamics of ternary statistical experiments with equilibrium state / Bertotti M.L., Dovgyi S.O., Koroliouk D. // Journ.of Computat. and Applied Math. – 2015. – т. 119, №2. – С. 3–7.
38. Koroliouk D. Adapted statistical experiments // Укр.Мат.Вісник. – 2016. – т.13, № 1. – С. 106–117.
39. Koroliouk D. A statistical model of macromolecules dynamics for Fluorescence Correlation Spectroscopy data analysis / Koroliouk D., Koroliuk V.S., Nicolai E., Bisegna P., Stella L., Rosato N. // Statistics, Optimization and Information Computing (SOIC). – Vol. 4. – September 2016. – С. 233–242.
40. Королюк Д.В. Статистические эксперименты в сбалансированной марковской случайной среде // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – т.51. – № 5. – С. 111–116.
41. Савицький О.А. Динаміка фундаментів на складних основах: автореф. дис. докт. тех. наук. К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2016. 47 с.
42. Трофимчук А.Н. Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред / А.Н. Трофимчук, А.М. Гомилко, О.А. Савицький. – К. : Наук. думка, 2003. – 230 с.
43. Інформатизація аерокосмічного землезнавства / С.О. Довгий, В.І. Лялька, О.М. Трофимчук та ін. : За ред. С.О. Довгого і В.І. Лялька. – К. : Наук. думка, 2001. – 606 с.
44. Сеймов В.М. Колебания и волны в слоистых средах / В.М. Сеймов, А.Н. Трофимчук, О.А. Савицький. – К. : Наук. думка, 1990. – 224 с.

45. Гомілко О.М. Динамічний тиск на контактi прямокутного штампа та пористопружного насиченого рідиною півпростору / О.М. Гомілко, О.М. Трофимчук, О.А. Савицький // Наукові Вісті НТТУ “КПІ”. – 2002. – 4. – С. 136–142.
46. Савицький О.А. Взаємодія в системі “прямокутний фундамент-шарувата основа” при динамічному впливі / О.А. Савицький // Основи і фундаменти. – 2002. – Вип. 27. – С. 104–112.
47. Сеймов В.М. Динамика водонасыщенного упругопластического слоя грунта при сейсмическом воздействии / В.М. Сеймов, А.Н. Трофимчук, О.А. Савицький // Будівництво : зб. наук. праць. – Вип. 8. – Дніпропетровськ, 2000. – С. 241–248.
48. Трофимчук А.Н. Горизонтально-вращательные колебания жесткого проникаемого штампа на двухфазном пористоупругом основании / А.Н. Трофимчук, А.М. Гомілко, О.А. Савицький // Прикладна гідромеханіка. – 2000. – 2 (74), № 1. – С. 70–78.
49. Gomilko A.M. Asymptotic solution of a harmonic contact problem for a permeable stamp on and liquid saturated base / A.M. Gomilko, O.A. Savitsky, A.N. Trofymchuk // Нелінійні коливання. – 2002. – 5. – № 1. – С. 3–22.
50. Трофимчук А.Н. Численный анализ межфазного взаимодействия в пористоупругой насыщенной жидкостью среде / А.Н. Трофимчук, О.А. Савицький // Обчислювальна та прикладна математика. – 1997. – № 2 (82). – С. 84–89.
51. Глебчук Г.С. Математичне моделювання зсувної небезпеки в умовах підтоплення та сейсмічних впливів: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2010. 20 с.
52. Глебчук Г.С. З досвіду паспортизації і картування зсувних ділянок у межах населених пунктів / Г.С. Глебчук, Г.Г. Стрижельчик, О.М. Трофимчук [та ін.] // Екологія і ресурси. – 2003. – № 7. – С. 64–70.
53. Глебчук Г.С. Регіональне підтоплення земель в Україні як фактор зростаючого впливу на еколого-економічну безпеку держави / О.М. Трофимчук, Є.О. Яковлев, Г.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2004. – № 9. – С. 13–19.
54. Глебчук Г.С. Дослідження впливу щільності гідрографічної мережі та територіального підтоплення на динаміку розвитку зсувів у Харківській області / Г.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2005. – № 11. – С. 87–91.
55. Глебчук Г.С. Вплив крутизни схилів та щільності дорожніх шляхів на розвиток зсувів на прикладі Харківської області / Г.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2006. – № 14. – С. 122–125.
56. Глебчук Г.С. Сучасні фактори регіональної активізації зсувів у Харківській області / О.М. Трофимчук, Є.О. Яковлев, Г.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2006. – № 15. – С. 97–102.
57. Глебчук А.С. Математическое моделирование устойчивости оползневого склона при подъеме уровня грунтовых вод / А.Н. Трофимчук, Ю.И. Калюх, А.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2008. – № 18. – С. 51–58.
58. Глебчук А.С. Об устойчивости склонов при изменении сейсмических условий / А.Н. Трофимчук, А.С. Глебчук, В.В. Полевский // Будів. конструкції. – 2008. – Вип. 69. – С. 304–311.
59. Глебчук А.С. Математическое моделирование изменения напряженно-деформированного состояния оползневого массива при наличии здания и обустройстве котлована в условиях подтопления / А.Н. Трофимчук, А.С. Глебчук, Ю.И. Калюх // Будів. конструкції. – 2008. – Кн. 1. – Вип. 71. – С. 95–104.
60. Головенко А.Д. Обчислювальні технології моделювання аеродинамічних процесів: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2012. 20 с.
61. Головенко А.Д. Моделирование аэродинамических полей при прогнозировании нестационарных аэрационных процессов в массивах разновысотной застройки / Головенко А.Д., Довгий С.А., Клименкова И.А., Черний Д.И. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – Харків. – 2010. – вип. 13. – № 890. – С. 37–46.

62. Головенко А.Д. Вычислительные особенности нестационарных гидродинамических задач / Головенко А.Д., Голубев С.А., Черний Д.И. // Журнал обчислювальної та прикладної математики. – К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2011. – вип. 1(104). – С. 24–39.
63. Головенко А.Д. О некоторых особенностях нестационарных течений / Головенко А.Д., Голубев С.А. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – Харків. – 2011. – вип. 16. – № 960. – С. 76–87.
64. Головенко А.Д. Обчислювальні технології та алгоритми для побудови автоматизованих моделюючих систем в будівельній аеродинаміці / Головенко А.Д. // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, серія Фізико-математичні науки. – К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2011. – вип. 3. – С. 131–138.
65. Клименков О.А. Математичне моделювання та моніторинг зсувних масивів: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2017. 20 с.
66. Клименков О.А. Экспериментальная диагностика и математическое моделирование железнодорожной подпорной стены / А.Н. Трофимчук, Я.А. Берчун, К.А. Хавкин // Вестник белорусско-российского университета. – 2016. – №1(50). – С. 140–148.
67. Зміцнення котловану в обмежених умовах міської забудови на прикладі будівництва торгово-офісного центру в м. Ялта / К.В. Сільченко, Ю.І. Калюх, О.А. Клименков та ін. // Світ геотехніки. – 2015. – №1(45). – С. 4–7.
68. Улаштування глибинного котловану 18-поверхової будівлі в щільних умовах міської забудови м. Ялта на зсувній території при сейсмічних навантаженнях 8 балів / К. Сільченко, Ю. Калюх, О. Клименков та ін. // Світ геотехніки. – 2015. – №3(47). – С. 13–16.
69. Трофимчук О.М. Математичне моделювання та моніторинг Лівадійської зсувної системи / О.М. Трофимчук, О.А. Клименко, Ю.І. Калюх // Екологічна безпека. – 2015. – №4(20). – С. 5–19.
70. Прикладна реалізація моделей ґрунтового середовища в геотехніці: від моделі Біо до моделі граничної рівноваги / Ю.І. Калюх, О.А. Клименков та ін. // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – №4 (20). – С. 5–19.
71. Калюх Ю.І. Моніторинг Лівадійського палацу при змінах фізико-математичних характеристик ґрунтів Центральної Лівадійської зсувної системи / Ю.І. Калюх, О.А. Клименков, Я.О. Берчун // Екологічна безпека та природокористування. – 2016. – №1–2 (21). – С. 69–82.
72. Лебедь А.Г. Математичне моделювання обтікання ротора з вертикальною віссю та керованими лопатями: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2013. 21 с.
73. Лебедь А.Г. К вопросу о методике расчета безотрывного обтекания телесного профиля с эжекцией / А.Г. Лебедь // Бионика. – 1991. – № 24. – С. 34–37.
74. Лебедь А.Г. Исследование влияния активного управления прямыми лопастями на рабочие характеристики ветроротора Дарье / С.А. Довгий, В.П. Каян, В.А. Кочин, А.Г. Лебедь // Прикладна гідромеханіка. – 2010. – Т. 12, № 3. – С. 12–23.
75. Лебедь А.Г. Оптимизация рабочих характеристик полномасштабного макета ветроротора Дарье с прямыми управляемыми лопастями / В.П. Каян, А.Г. Лебедь // Прикладна гідромеханіка. – 2010. – Т. 12, № 4. – С. 26–35.
76. Лебедь А.Г. Оптимизация рабочих характеристик ветроротора Дарье с прямыми лопастями / В.П. Каян, А.Г. Лебедь, В.В. Чмовж // Відновлювана енергетика. – 2011. – № 1. – С. 43–50.
77. Лебедь А.Г. Оптимизация работы модели водной турбины типа ротора Дарье с активным управлением лопатями / В.П. Каян, А.Г. Лебедь // Відновлювана енергетика, 2011. – № 4. – С. 42–48.

78. Лебець А.Г. Ротор Дарье с управляемыми лопастями – перспективный преобразователь гидрокинетической энергии водных течений / П.Ф. Васько, В.П. Каян, А.Г. Лебець // Альтернативная энергетика и экология (РФ). – 2012. – № 7. – С. 119–125.
79. Lebid O.G. Studying the Performance of Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Models with Blade Control Mechanism / V.P. Kayan, V.A. Kochin, O.G. Lebid // International Journal of Fluid Mechanic Research. – Begell House, inc., USA, 2009. – vol. 36, № 2. – P. 154–165.
80. Ходневич Я.В. Математичне моделювання кінематики руслового потоку при обтіканні донних гряд: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2014. 22 с.
81. Стефанишин Д.В. Про один підхід до прогнозування місцевих розмивів русел та берегів на передгірних ділянках рік з використанням можливостей математичного моделювання / Д.В. Стефанишин, Я.В. Ходневич, О.Є. Щодро // Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. – К.: КНУБА, ІТГП НАНУ, 2011. – Вип. 7. – С. 64–72.
82. Ходневич Я.В. Чисельне моделювання умов інтенсифікації місцевого розмиву русла ріки за донною перешкодою, що відхиляється від берега вниз за течією / Я.В. Ходневич, Д.В. Стефанишин // Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. – К.: КНУБА, ІТГП НАНУ, 2014. – Вип. 16. – С. 111–122.
83. Khodnevich Y.V. Mathematical modelling the conditions of intensification of the riverbed local erosion behind of obstacle that deviates from the shore downstream / Y.V. Khodnevich, D.V. Stefanyshyn // Zeszyty Naukowe Inżynieria Łądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska. Nr 10–11. – Kalisz, 2013. – S. 8–20.
84. Khodnevich Y. Water Flume Dynamics and Local Scores Modeling Near Obstacles With the Use of Poisson Equation/ Y. Khodnevich, O. E. Schodro // Water management – state and prospects of development. Collected articles of young scientists. Part 1. – Rivne: National University of Water Management and Nature Resources Use, 2010. – P. 55–57.
85. Шитікова І.Г. Математичне моделювання та оптимізація конструкції теплообмінника змієвикового типу: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2017. 20 с.
86. Шитікова И.Г. Динамические характеристики подогревательного-аккумуляторных установок / А.А. Олексюк, А.М. Трофимчук, И.Г. Шитікова // Обчислювальна і прикладна математика. – 2016. – № 1(121). – С. 78–88.
87. Shytikova I.G. The constructive calculation of heating-accumulating unit with the heat exchanger of a coiled type and the regulation conditions influence on the thermic and exergetic efficiency factors size / Shytikova I., Trofymchuk O., Oleksiuk A. // Journal of Energy and Power Engineering / by David Publishing Company located at 3592 Rosemead Blvd #220, Rosemead, CA 91770, USA. – 2016. – С. 288–291.
88. Шитікова І. Г. Дослідження теплообмінних процесів, які протікають в контурах систем опалення та гарячого водопостачання, в теплообмінному апараті змієвикового типу // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2016. – №32. – С. 80–85.
89. Шитікова И. Г. Экспериментальные исследования путей интенсификации теплообмена в трехконтурных теплообменниках змеєвикового типа для независимых систем отопления и ГВС / И. Г. Шитікова, А.А. Олексюк // Вісник ДонНАБА. – 2015. – №5. – С. 98–104.
90. Trofymchuk O. On complexity of one variety of the packing problem / O. Trofymchuk, L. Ushakova, V. Vasyanin // VI International Conference on Optimization Methods and Applications «Optimization and applications» (OPTIMA-2015) held in Petrovac, Montenegro, September 27 – October 3, 2015, Petrovac, Montenegro: Proceedings. – Moscow, Russia: ESC Dorodnicyn Computing Centre of RAS, Russia, 2015. – P. 175–176.

91. Vengersky P.S. Application of interval analysis for nonlinear systems and some global optimization problems / P.S. Vengersky, P.S. Senyo // Abstract Inter. IMACS-GAMM-Symposium of numerical methods and error-bounds. – Oldenburg, 1996. P. 66–68.
92. Vengerskyi P. Investigation stability and convergence interval iteration methods in kinematic wave problem/ P. Venherskyi, M. Bartish // Abstr. XXIV Int. Conf. “Problems of decision making under uncertainties” (Czech Republic, Brno, August 30 – September 8, 2014). – Cesky Rudolec, 2014. – P. 14.
93. Vengerskyi, O. Trofymchuk, Y. Kokosova // Abstr. XXVI Int. conf./ “Problems of decision making under uncertainties” (Czech Republic, Brno, August 25-30, 2016). Brno, 2016. – P. 14.
94. Trofymchuk O. M. Dynamic contact problems for poroelastic liquid-saturated half-space / O. M. Trofymchuk, O. M. Gomilko, O. A. Savitsky // Proceedings of the second Biot conference on poromechanics, Grenoble, France, 26-28 aug., 2002. – Poromechanics II, Auriault et al (eds). – P. 833–838.
95. Trofymchuk O. Regional Features of the Carpathian region landslides in Ukraine / O. Trofymchuk, I. Kaliukh, O. Klimenkov // IPL Symposium, Kyoto, 8-11 March, 2016. – [s.l. : s.n.], 2016. – P. 30.
96. Lebid O.G. Performance Optimization of a Vertical Axis Wind Turbine with Mechanism of Blade Pitch Control / S.O. Dovgy, V. P. Kayan, O.G. Lebid // Proceeding of 14 AMME Conference 25-27 May 2010: Paper MP-3 on CD Proceeding of The 5th International Scientific Conference of The Military Technical College. – Cairo, Egypt: The Military Technical College, 2010. – P. 1–9.
97. Lebid O. Darrieus Water Turbine with Active Control of Blades – Prospective Renewable Power Generation Device for Slow Moving Water / V. Kayan, S. Dovgy, O. Lebid // Paper 2009.217 on CD Proceeding of 6th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (September 25th-29th 2011), Dubrovnik, Croatia. – Zagreb, Croatia: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture. – 2011. – P. 1–11.
98. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Пакет програм для рішення задач оптимізації розподілу дискретних потоків у багатопродуктових мережах» / заявник і власник В.О. Васянін; А. с. від 23.07.2002 № 5978, Україна, Міністерство освіти і науки України, Державний департамент інтелектуальної власності; заявка від 06.06.2002 № 5772 про реєстрацію авторського права на твір.
99. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп’ютерна програма оптимізації ієрархічної структури багатопродуктової комунікаційної мережі з дискретними потоками» / заявник і власник О.М. Трофимчук, В.О. Васянін, Л.П. Ушакова; А. с. від 20.07.2016 No 66791, Державна служба інтелектуальної власності України; заявка від 25.05.2016 No 67221 про реєстрацію авторського права на твір.
100. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп’ютерна програма оптимізації розподілу та маршрутизації дискретних потоків в багатопродуктової комунікаційної мережі» / заявник і власник В.О. Васянін; А. с. від 20.07.2016 No 66794, Державна служба інтелектуальної власності України; заявка від 25.05.2016 No 67224 про реєстрацію авторського права на твір.
101. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп’ютерна програма знаходження основного лісу графа з мінімальною (максимальною) вагою» / заявник і власник О.М. Трофимчук, В.О. Васянін, Л.П. Ушакова; А. с. від 20.07.2016 No 66792, Державна служба інтелектуальної власності України; заявка від 25.05.2016 No 67222 про реєстрацію авторського права на твір.
102. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп’ютерна програма побудови всіх найкоротших шляхів в мережі за двохкритеріальним лексикографічним упорядкуванням» / заявник і власник В.О. Васянін; А. с. від 20.07.2016 No 66793, Державна служба інтелектуальної власності України; заявка від 25.05.2016 No 67223 про реєстрацію авторського права на твір.

103. Комп'ютерна програма “Програма комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану схилів в умовах зміни інженерно-геологічних умов: підтоплення, землетрусів та інженерної підготовки територій (LANDSLIP07)” / Г.С. Глебчук, О. М. Трофимчук, Ю. І. Калюх // Свідоцтво про реєстрацію авт. права на твір № 26501. Дата реєстрації 18.11.2008. – К.: Держ. департ. інтелект. власності, 2008. офіц. бюл. // «Авторське право і суміжні права»: – 2008. – № 17. – С. 334–335.
104. Пат. 16097 Україна, МПК F 03 D 3/00, F 03 D 7/06. Вітросилова установка: / Бойко П.М., Довгий С.О., Каян В.П., Лебідь О.Г. // Промислова власність. – заявл. 22.02.2006; опубл. 17.07.2006, Бюл. №7. – С. 5.174.
105. Теплоізоляційна труба : пат. 71442, Україна, МПК F16L59/00 / Шитікова І. Г., Бачурін О.М., Олексюк А. О. (Україна); заявник і власник Шитікова І. Г. – NoU201200447; заявл. 16.01.2012 ; опубл. 10.07.2012, Бюл. No 13. – 4 с.
106. Симетричний розбірний теплообмінник змієвикового типу для систем опалення та гарячого водопостачання : пат. 72193, Україна, МПК F24D11/00/ Шитікова І. Г., Горделюк А. А., Олексюк А. О. (Україна); заявник і власник Шитікова І.Г. – NoU201200987; заявл. 31.01.2012 ; опубл. 10.08.2012, Бюл. No 15. – 4 с.
107. Багатоконтурний теплообмінний апарат змієвикового типу для незалежних систем опалення та гарячого водопостачання: пат. 81831, Україна, МПК F24D11/00/. Шитікова І.Г., Олексюк А.О. (Україна); заявник і власник Шитікова І.Г. – NoU201301303; заявл. 04.02.2013 ; опубл. 10.07.2013, Бюл. No 13. – 4 с.
108. Каналізаційна склопластикова труба: пат. 50996, Україна, МПКЕ03F3/00/. Шитікова І.Г., Бачурін О.М., Найманов А.Я. (Україна); заявник і власник Шитікова І.Г. – NoU201000761; заявл. 26.01.2010 ; опубл. 25.06.2010, Бюл. No 12. – 4 с.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2018.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.056:004.052

А.Б. КАЧИНСЬКИЙ, В.М. ТКАЧ, А.А. ПОДЕНКО

ІЄРАРХІЯ ФАКТОРІВ ТИПОВИХ СЦЕНАРІЇВ РЕАЛІЗАЦІЇ DDoS-АТАК

(частина II)

***Анотація.** Запропоновано перелік рекомендацій щодо запобігання реалізації DDoS-атак залежно від об'єкта захисту на основі аналізу сценаріїв реалізації методами аналізу ієрархії та аналізу мереж.*

***Ключові слова:** DDoS-атака, особа, суспільство, держава, когнітивні карти, ієрархія факторів, метод аналізу ієрархії.*

Вступ

У попередній статті [1] було розглянуто сутність DDoS-атак [2], наведено перелік їх основних причинних факторів, а також запропоновано методологію застосування ієрархічної структуризації когнітивних карт. Це дозволяє усувати причинні фактори реалізації DDoS-атак для різних сценаріїв, а саме: безпека особи, суспільства та держави.

У розвиток вищенаведеного, пропонується проведення аналізу сценаріїв та відповідних їм ієрархічних структур, кінцевою метою якого є формування рекомендацій щодо запобігання реалізації DDoS-атак.

1. Обґрунтування вибору інструментів аналізу

В даній статті за допомогою методу аналізу ієрархій (MAI) та методу аналізу мереж (МММ) [3] було здійснено аналіз сценаріїв реалізації DDoS-атак, що були розглянуті в попередній роботі, зокрема, для основних об'єктів захисту національної безпеки: особи, суспільства та держави. Вибір таких математичних методів спричинений тим, що за допомогою цих методів можна дати відповідь на питання, наскільки сильно окремі чинники певних рівнів впливають на інші рівні. В даному випадку – визначити пріоритетність рівнів. Для визначення таких показників, як пріоритети елементів (оцінка впливу зацікавлених сторін на вибір фактора), пріоритети критеріїв відносно елементів (ступені важливості критеріїв для зацікавлених сторін) та пріоритети альтернатив відносно критеріїв використовувалися алгоритми пошуку в глибину та ширину отриманих раніше ієрархій. Також для кожного сценарію були наведені відповідні таблиці порівнянь.

Таким чином, було здійснено 2-й крок MAI – обчислення локальних пріоритетів та здійснена оцінка узгодженості суджень. Далі у статті наводиться процес синтезу пріоритетів альтернатив та оцінюється загальна узгодженість ієрархій.

2. Аналіз сценаріїв реалізації DDoS-атаки

Визначення пріоритетів здійснимо методом пошуку в глибину з урахуванням ієрархічного рівня фактора. Для цього застосуємо MAI, що дає змогу оцінити величину впливу факторів, які знаходяться на вищих ієрархічних рівнях, на фактори нижніх рівнів для всіх сценаріїв реалізації DDoS-атак.

Процес отримання оцінки величини впливу факторів наведено для рівня особи, як демонстрація методики розрахунку. Для інших рівнів – суспільства, держави – наведено лише результати.

Дослідимо вплив фактора x_1 , що знаходиться на 1-му рівні ієрархії, на фактори нижчих рівнів. Для цього побудуємо граф пріоритетів, який ілюструє вплив фактора x_1 на решту факторів (рис. 1) для ієрархічно структурованого графу відповідного сценарію (див. [1], рис. 4).

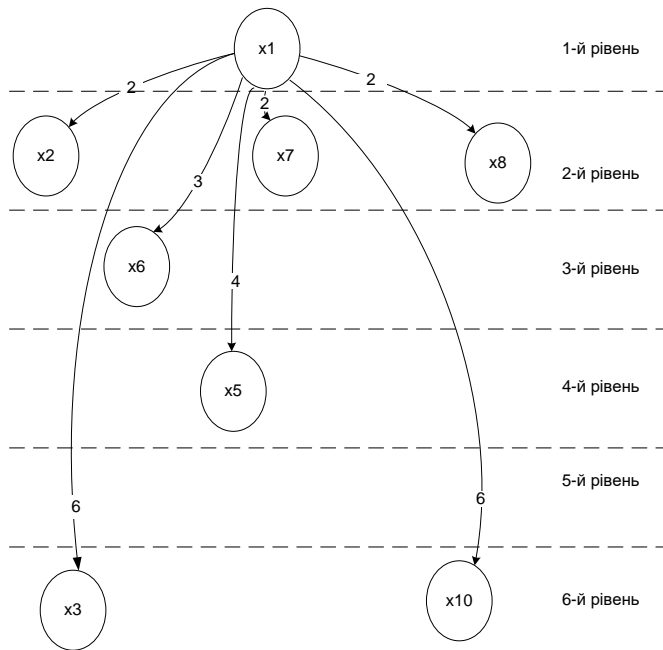


Рисунок 1 – Граф пріоритетів факторів відносно фактора x_1

Проведемо оцінку величини переваги одних факторів над іншими відносно фактора x_1 . Для визначення переваги факторів один над одним застосуємо один з найбільш математично обґрунтованих методів – метод власного вектору. Отримані величини запишемо в таблицю порівнянь (табл. 1).

Таблиця 1 – Таблиця порівнянь для фактора x_1

x_1	x_2	x_3	x_5	x_6	x_7	x_8	x_{10}
x_2	1	0,333	0,5	0,667	1	1	0,333
x_3	3	1	1,5	2	3	3	1
x_5	2	0,667	1	1,333	2	2	0,667
x_6	1,5	0,5	0,75	1	1,5	1,5	0,5
x_7	1	0,333	0,5	0,667	1	1	0,333
x_8	1	0,333	0,5	0,667	1	1	0,333
x_{10}	3	1	1,5	2	3	3	1

Таблиця 1 відповідає матриці порівнянь для даного фактора x_1 . Знайдемо тепер власний вектор та власне значення λ для одержаної матриці D_1 .

$$D_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0,333 & 0,5 & 0,667 & 1 & 1 & 0,333 \\ 3 & 1 & 1,5 & 2 & 3 & 3 & 1 \\ 2 & 0,667 & 1 & 1,333 & 2 & 2 & 0,667 \\ 1,5 & 0,5 & 0,75 & 1 & 1,5 & 1,5 & 0,5 \\ 1 & 0,333 & 0,5 & 0,667 & 1 & 1 & 0,333 \\ 1 & 0,333 & 0,5 & 0,667 & 1 & 1 & 0,333 \\ 3 & 1 & 1,5 & 2 & 3 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

Додаємо елементи рядків і запишемо результат у вигляді вектору-стовпчика \vec{b}_1 , отримаємо:

$$\vec{b}_1 = \begin{pmatrix} 4,833 \\ 14,5 \\ 9,667 \\ 7,25 \\ 4,833 \\ 4,833 \\ 14,5 \end{pmatrix}$$

Далі підсумовуємо всі елементи вектору-стовпчика \vec{b}_1 , отримуємо $\sum b_i = 60,417$.

Розділимо на одержану суму всі елементи вектору-стовпчика \vec{b}_1 та отримаємо вектор пріоритетів (корисності) \vec{W}_1 :

$$\vec{W}_1 = \begin{pmatrix} 0,08 \\ 0,24 \\ 0,16 \\ 0,12 \\ 0,08 \\ 0,08 \\ 0,24 \end{pmatrix}$$

Отже, фактор x_1 може впливати в такому співвідношенні на фактори нижчих рівнів (табл. 2):

Таблиця 2 – Пріоритети впливу фактора на фактори нижчих рівнів

Позначення фактора	Пріоритет фактора (%)	Зміст фактора
x_1		недосконалість законодавчої бази (правовий аспект)
x_2	8%	відсутність налагоджених процедур виявлення кіберзлочинців (організаційний аспект)
x_3	24%	провокація зловмисника до реалізації DDoS-атаки
x_5	16%	безкарність за проведення атак
x_6	12%	низький рівень виявлення атак
x_7	8%	доступність інформації про можливість реалізації DDoS-атаки
x_8	8%	недостатня обізнаність звичайних користувачів
x_{10}	24%	нарощування ресурсів зловмисниками

Тепер дослідимо вплив факторів, що знаходяться на 2-му рівні ієрархії, на фактори нижчих рівнів. Для цього побудуємо графи пріоритетів, які відповідно ілюструють вплив факторів x_2, x_7 (даний фактор не має залежних від нього факторів) та x_8 на фактори нижчих рівнів (рис. 2) для ієрархічно структурованого графу відповідного сценарію (див. [1], рис. 4).

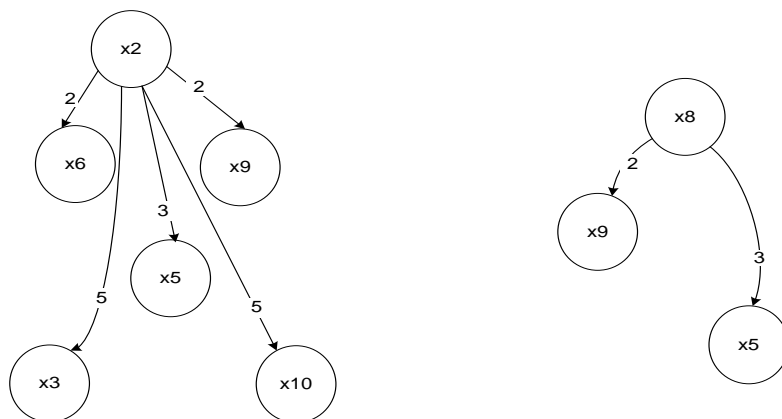


Рисунок 2 – Графи пріоритетів факторів відносно x_2 та x_8

Для даних факторів проведемо оцінку ступеня переваги одних факторів над іншими, як і для попереднього рівня. Отримані величини запишемо в таблицю порівнянь (табл. 3).

Таблиця 3 – Таблиця порівнянь для факторів x_2 та x_8

x_2	x_3	x_5	x_6	x_9	x_{10}	x_8	x_5	x_9
x_3	1	1,667	2,5	2,5	1	x_5	1	1,5
x_5	0,6	1	1,5	1,5	0,6	x_9	0,667	1
x_6	0,4	0,667	1	1	0,4			
x_9	0,4	0,667	1	1	0,4			
x_{10}	1	1,667	2,5	2,5	1			

Таблиця 3 відповідає двом матрицям порівнянь для даних факторів x_2 та x_8 , знайдемо тепер власний вектор та власне значення λ для одержаних матриць D_2 та D_8 :

$$D_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1,667 & 2,5 & 2,5 & 1 \\ 0,6 & 1 & 1,5 & 1,5 & 0,6 \\ 0,4 & 0,667 & 1 & 1 & 0,4 \\ 0,4 & 0,667 & 1 & 1 & 0,4 \\ 1 & 1,667 & 2,5 & 2,5 & 1 \end{pmatrix}, D_8 = \begin{pmatrix} 1 & 1,5 \\ 0,667 & 1 \end{pmatrix}$$

Додаємо елементи рядків і запишемо результат у вигляді вектору-стовпчика $\overline{b_2}$ та $\overline{b_8}$, отримаємо:

$$\overline{b_2} = \begin{pmatrix} 8,667 \\ 4 \\ 3,467 \\ 3,467 \\ 8,667 \end{pmatrix}, \overline{b_8} = \begin{pmatrix} 2,5 \\ 1,667 \end{pmatrix}$$

Далі підсумовуємо всі елементи вектору-стовпчика $\overline{b_2}$, отримуємо $\sum b_i = 29,467$ і відповідно для $\overline{b_8} - \sum b_i = 4,167$.

Розділимо на одержану суму всі елементи векторів-стовпчиків $\overline{b_2}$ та $\overline{b_8}$, отримаємо вектори пріоритетів (корисності) $\overline{W_2}$ та $\overline{W_8}$:

$$\overline{W_2} = \begin{pmatrix} 0,2941 \\ 0,1765 \\ 0,1176 \\ 0,1176 \\ 0,2941 \end{pmatrix}, \overline{W_8} = \begin{pmatrix} 0,6 \\ 0,4 \end{pmatrix}$$

Отже, фактори x_2 та x_8 можуть таким чином впливати на фактор нижчих рівнів (табл. 4):

Таблиця 4 – Пріоритети впливу фактора на фактори нижчих рівнів

Позначення фактора	Пріоритет фактора (%)	Зміст фактора
x_2 – відсутність налагоджених процедур виявлення кіберзлочинців (організаційний аспект)		
x_3	29,41%	провокація зловмисника до реалізації DDoS-атаки
x_5	17,65%	безкарність за проведення атак
x_2 – відсутність налагоджених процедур виявлення кіберзлочинців (організаційний аспект)		
x_6	11,76%	низький рівень виявлення атак
x_9	11,76%	невідповідна захищеність користувацьких ресурсів
x_{10}	29,41%	нарощування ресурсів зловмисниками
x_8 – недостатня обізнаність звичайних користувачів		
x_5	60%	безкарність за проведення атак
x_9	40%	невідповідна захищеність користувацьких ресурсів

Тепер дослідимо вплив факторів, що знаходяться на 3-му рівні ієрархії, на фактори нижчих рівнів. Для цього побудуємо графі пріоритетів, які відповідно ілюструють вплив факторів x_6 та x_9 (оскільки має лише один залежний фактор x_3 , **тому використання має є недоцільним**) на фактори нижчих рівнів (рис. 3) для ієрархічно структурованого графу відповідного сценарію (див. [1], рис. 4).

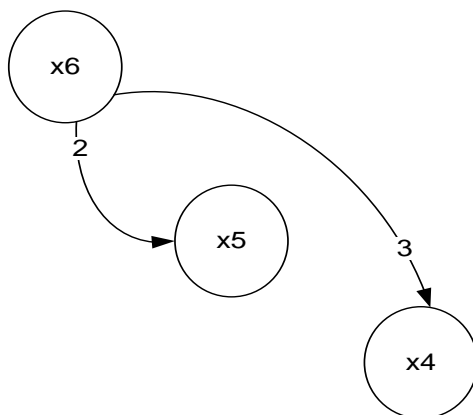


Рисунок 3 – Граф пріоритетів факторів відносно x_6

Для даного фактора проведемо оцінку ступеня переваги одних факторів над іншими, як і для попереднього рівня. Отримані величини запишемо в таблицю порівнянь (табл. 5).

Таблиця 5 – Таблиця порівнянь для фактора x_6

x_6	x_4	x_5
x_4	1	1,5
x_5	0,667	1

Таблиця 5 відповідає матриці порівнянь для фактора x_6 , знайдемо тепер власний вектор та власне значення λ для матриці D_6 :

$$D_6 = \begin{pmatrix} 1 & 1,5 \\ 0,667 & 1 \end{pmatrix}$$

Додаємо елементи рядків і запишемо результат у вигляді вектору-стовпчика $\overline{b_6}$, отримаємо:

$$\overline{b_6} = \begin{pmatrix} 2,5 \\ 1,667 \end{pmatrix}$$

Далі підсумовуємо всі елементи вектору-стовпчика $\overline{b_6}$, отримуємо $\Sigma b_i = 4,167$.

Розділимо на одержану суму всі елементи вектору-стовпчика $\overline{b_6}$, отримаємо вектор пріоритетів (корисності) $\overline{W_6}$:

$$\overline{W_6} = \begin{pmatrix} 0,6 \\ 0,4 \end{pmatrix}$$

Отже, фактор x_6 може таким чином впливати на фактор нижчих рівнів (табл. 6):

Таблиця 6 – Пріоритети впливу фактора на фактори нижчих рівнів

Позначення фактора	Пріоритет фактора (%)	Зміст фактора
x_6 – низький рівень виявлення атак		
x_4	60%	грошовий інтерес зловмисників
x_5	40%	безкарність за проведення атак

Виконаємо аналогічні дії для дослідження впливу факторів x_5 та x_4 , що знаходяться відповідно на 4-му та 5-му рівнях ієрархії, на фактори нижчих рівнів. Побудуємо граф пріоритетів, для факторів x_5 та x_4 (рис. 4).

Для даних факторів проведемо оцінку ступеня переваги одних факторів над іншими, як і для попереднього рівня. Отримані величини запишемо в таблицю порівнянь (табл. 7).

Таблиця 7 – Таблиця порівнянь для фактора x_5 та x_4

x_5	x_3	x_4	x_4	x_3	x_{10}
x_3	1	1,5	x_3	1	1
x_4	0,667	1	x_{10}	1	1

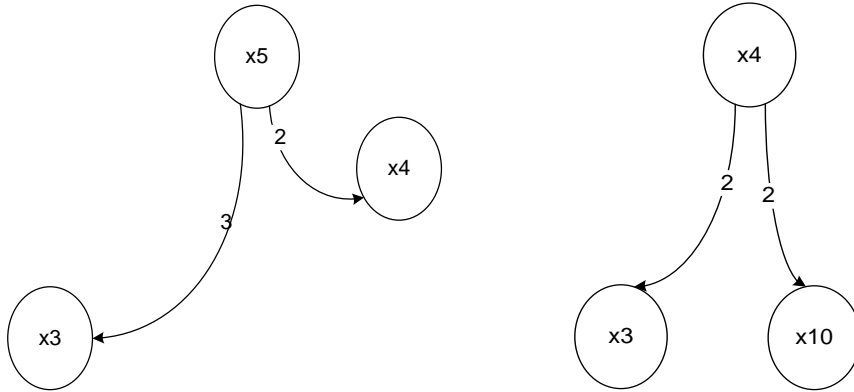


Рисунок 4 – Граф пріоритетів факторів відносно x_5 та x_4

Таблиця 7 відповідає матриці порівнянь для фактора x_5 та x_4 , знайдемо тепер власний вектор та власне значення λ для матриці D_5 та D_4 :

$$D_5 = \begin{pmatrix} 1 & 1,5 \\ 0,667 & 1 \end{pmatrix}, D_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Додаємо елементи рядків і запишемо результат у вигляді вектору-стовпчика \bar{b}_5 та \bar{b}_4 , отримаємо:

$$\bar{b}_5 = \begin{pmatrix} 2,5 \\ 1,667 \end{pmatrix}, \bar{b}_4 = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Далі підсумовуємо всі елементи вектору-стовпчика \bar{b}_5 , отримуємо $\sum b_i = 4,167$, для $\bar{b}_4 - \sum b_i = 4$.

Розділимо на одержану суму всі елементи вектору-стовпчика \bar{b}_5 та \bar{b}_4 , отримаємо вектор пріоритетів (корисності) \bar{W}_5 та \bar{W}_4 :

$$\bar{W}_5 = \begin{pmatrix} 0,6 \\ 0,4 \end{pmatrix}, \bar{W}_4 = \begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{pmatrix}$$

Отже, фактори x_5 та x_4 можуть таким чином впливати на фактори нижчих рівнів (табл. 8):

Таблиця 8 – Пріоритети впливу фактора на фактори нижчих рівнів

Позначення фактора	Пріоритет фактора (%)	Зміст фактора
x_5		безкарність за проведення атак
x_3	60%	провокація зловмисника до реалізації DDoS-атаки
x_4	40%	грошовий інтерес зловмисників
x_4		грошовий інтерес зловмисників
x_3	50%	провокація зловмисника до реалізації DDoS-атаки
x_{10}	50%	нарощування ресурсів зловмисниками

Оскільки решта факторів даного сценарію мають не більше одного залежного фактора, тому використання методу аналізу ієрархій для їх дослідження є недоцільним.

Побудуємо структурований граф ієрархії для даного сценарію, з відображенням визначених пріоритетів факторів (рис. 5).

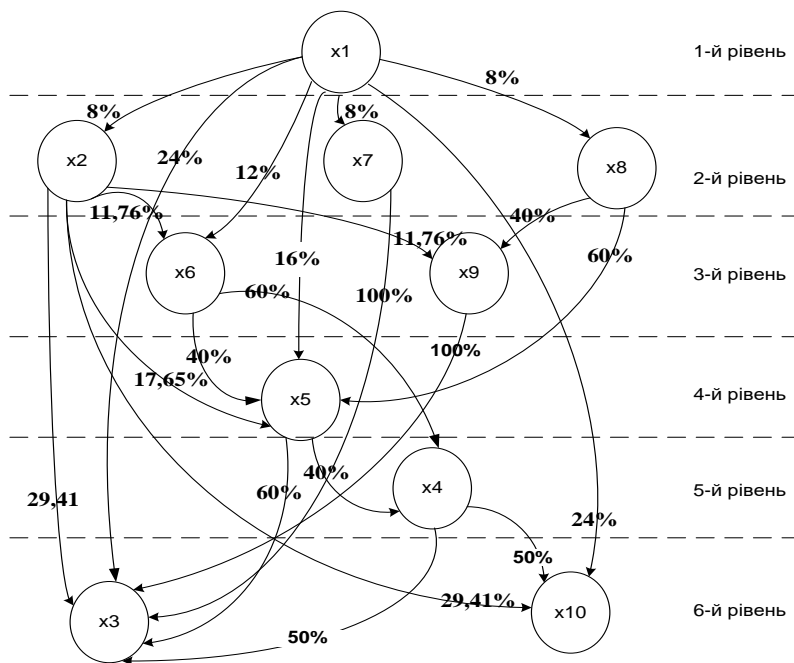


Рисунок 5 – Розподіл пріоритетів в ієрархії для сценарію реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці особи

Аналогічні обчислення для сценаріїв реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці суспільства та держави (див. [1], рис. 6, рис. 8 відповідно) представлено на рис. 6, рис. 7.

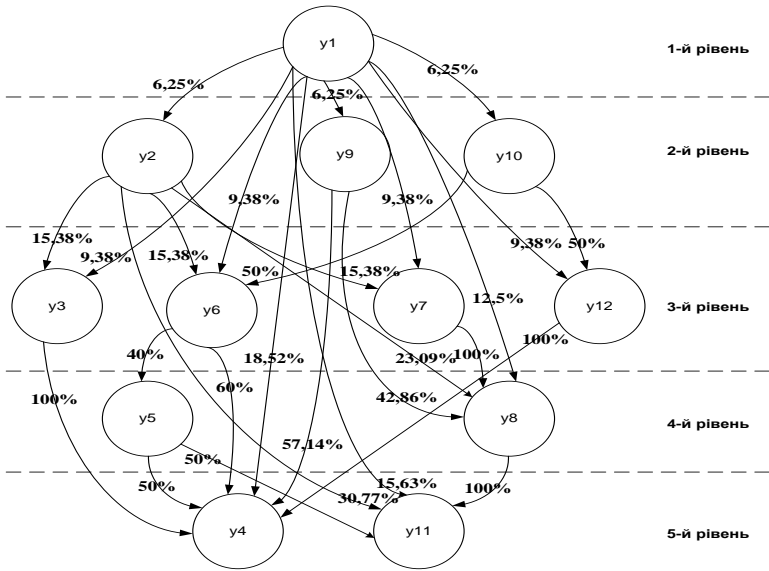


Рисунок 6 – Розподіл пріоритетів в ієрархії для сценарію реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці суспільства

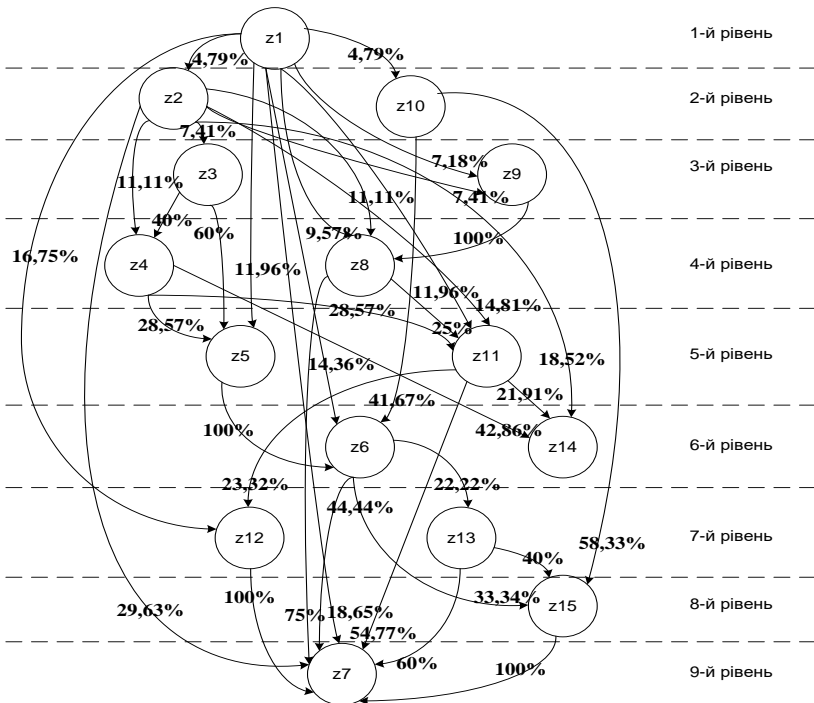


Рисунок 7 – Розподіл пріоритетів в ієрархії для сценарію реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці держави

3. Аналіз сценаріїв реалізації DDoS-атак із застосуванням МММ

Застосуємо метод аналізу мереж для визначення величини впливу факторів, що знаходяться на вищих рівнях, на фактори нижніх рівнів мережі для даного

сценарію реалізації DDoS-у. Для визначення пріоритетів застосуємо метод пошуку в глибину з урахуванням ієрархічного рівня фактора (рис. 8).

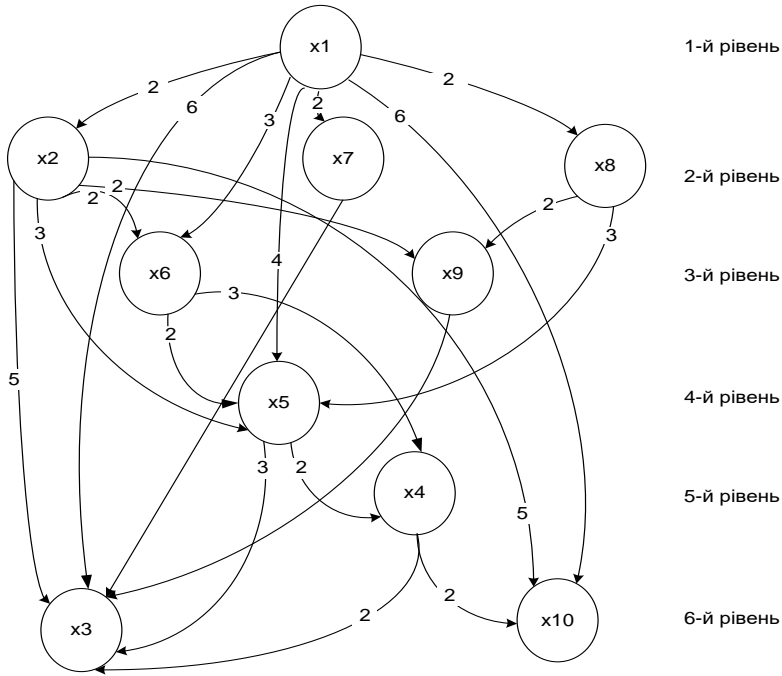


Рисунок 8 – Мережа взаємовпливів для сценарію реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці особи

Скористаємось результатами методу парних порівнянь та побудуємо суперматрицю взаємних впливів компонентів мережі (табл. 9).

Таблиця 9 – Суперматриця для сценарію реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці особи

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,24	0,29411765	0	0,5	0,6	0	1	0	1	0
4	0	0	0	0	0,4	0,6	0	0	0	0
5	0,16	0,17647059	0	0	0	0,4	0	0,6	0	0
6	0,12	0,11764706	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0,11764706	0	0	0	0	0	0,4	0	0
10	0,24	0,29411765	0	0,5	0	0	0	0	0	0

Таблиця 9 відповідає суперматриці для даного сценарію W:

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0,08 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,24 & 0,294118 & 0 & 0,5 & 0,6 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,16 & 0,176471 & 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0 & 0,6 & 0 & 0 \\ 0,12 & 0,117647 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,08 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,08 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,176471 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0 & 0 \\ 0,24 & 0,294118 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Знайдемо тепер граничну суперматрицю, послідовно підносячи суперматрицю в степені, поки значення елементів практично не перестануть змінюватись.

Таблиця 10 – Гранична суперматриця (W^2)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.19952941176	0.2235294118	0	0	0.2	0.54	0	0.76	0	0
4	0.136	0.1411764706	0	0	0	0.16	0	0.24	0	0
5	0.11011764704	0.0470588236	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.00941176472	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.04141176472	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.02352941176	0	0	0	0.2	0.3	0	0	0	0

Як результат проведеного аналізу мережі отримуємо такі головні фактори для даного сценарію DDoS-у: x_1, x_2, x_5, x_6, x_8 , розподіл пріоритетів впливу яких показаний в табл. 11.

Таблиця 11 – Розподіл пріоритетів факторів

Позначення фактора	Пріоритет фактора (%)	Зміст фактора
1	2	3
x_1		недосконалість законодавчої бази (правовий аспект)
x_3	19,95%	провокація зловмисника до реалізації DDoS-атаки
x_4	13,6%	грошовий інтерес зловмисників
x_5	11,01%	безкарність за проведення атак
x_6	0,94%	низький рівень виявлення атак
x_8	4,14%	невідповідна захищеність користувачьких ресурсів
x_{10}	2,35%	нарощування ресурсів зловмисниками

Продовження таблиці 11

1	2	3
x_2 – відсутність налагоджених процедур виявлення кіберзлочинців (організаційний аспект)		
x_3	22,35%	провокація зловмисника до реалізації DDoS-атаки
x_4	14,12%	грошовий інтерес зловмисників
x_5	4,71%	безкарність за проведення атак
x_6 – низький рівень виявлення атак		
x_3	54%	провокація зловмисника до реалізації DDoS-атаки
x_4	16%	грошовий інтерес зловмисників
x_{10}	30%	нарощування ресурсів зловмисниками
x_5 – безкарність за проведення атак		
x_3	20%	провокація зловмисника до реалізації DDoS-атаки
x_{10}	20%	нарощування ресурсів зловмисниками
x_8 – недостатня обізнаність звичайних користувачів		
x_3	76%	провокація зловмисника до реалізації DDoS-атаки
x_4	24%	грошовий інтерес зловмисників

Отримані результати, подані в табл. 11, дозволяють дещо спростити побудовану в [1] когнітивну карту даного сценарію. Також, як бачимо, фактор «доступність інформації про можливість реалізації DDoS-атаки» суттєво не впливає на решту факторів та ним можна знехтувати, а фактори «правовий аспект», «організаційний аспект», «недостатня обізнаність звичайних користувачів» є такими, мінімізація впливу яких – першочергове завдання при організації процесу запобігання причинам реалізації DDoS-атак для даного сценарію.

Аналогічно для двох інших сценаріїв реалізації DDoS-атак отримаємо такі таблиці (табл. 12, табл. 13).

Таблиця 12 – Розподіл пріоритетів факторів

Позначення фактора	Пріоритет фактора (%)	Зміст фактора
1	2	3
y_1 – недосконалість законодавчої бази (правовий аспект)		
y_3	0,96%	сприятливе для реалізації DDoS-у конкурентне середовище
y_4	27,96%	провокація зловмисників до реалізації DDoS-атак
y_5	3,75%	грошовий інтерес зловмисника

Продовження таблиці 12

1	2	3
У ₆	4,09%	безкарність за проведення атак
У ₇	0,96%	низький рівень виявлення атак
У ₈	13,5%	самоорганізація зловмисників у злочинні угруповання
У ₁₁	1,92%	нарощування ресурсів зловмисників
У ₁₂	3,12%	застарілість використовуваного програмного та апаратного забезпечення
У ₂ – організаційний аспект (відсутність налагоджених процедур виявлення кіберзлочинців)		
У ₄	24,62%	сприятливе для реалізації DDoS-у конкурентне середовище
У ₅	6,15%	грошовий інтерес зловмисника
У ₈	15,38%	самоорганізація зловмисників у злочинні угруповання
У ₆ – безкарність за проведення атак		
У ₄	20%	провокація зловмисників до реалізації DDoS-атак
У ₁₁	20%	нарощування ресурсів зловмисників
У ₁₀ – недостатня обізнаність працівників компаній		
У ₄	80%	сприятливе для реалізації DDoS-у конкурентне середовище
У ₅	20%	грошовий інтерес зловмисника

Таблиця 13 – Розподіл пріоритетів факторів

Позначення фактора	Пріоритет фактора (%)	Зміст фактора
1	2	3
Z ₁ – недосконалість законодавчої бази		
Z ₃	0,35%	внутрішня політична боротьба
Z ₄	0,53%	агресія держав
Z ₆	13,96%	відсутність достатнього фінансування державних структур, що займаються проблемами інформаційної безпеки
Z ₇	38,28%	сприятливі умови для реалізації DDoS-атак
Z ₈	7,71%	безкарність за проведення атак
Z ₉	0,35%	низький рівень виявлення атак
Z ₁₁	3,1%	самоорганізація зловмисників у злочинні угруповання
Z ₁₂	2,79%	доступність інформації про можливість реалізації DDoS-атаки

Продовження таблиці 13

1	2	3
Z ₁₃	3,19%	низький рівень кваліфікації співробітників
Z ₁₄	3,51%	нарощування ресурсів зловмисників
Z ₁₅	7,58%	застарілість використовуваного програмного та апаратного забезпечення
Z ₂ – відсутність налагоджених процедур виявлення кіберзлочинців		
Z ₄	2,96%	агресія держав
Z ₅	7,62%	незадовільна робота влади
Z ₇	16,45%	сприятливі умови для реалізації DDoS-атак
Z ₈	7,40%	безкарність за проведення атак
Z ₁₁	5,95%	самоорганізація зловмисників у злочинні угруповання
Z ₁₂	3,46%	доступність інформації про можливість реалізації DDoS-атаки
Z ₁₄	8,01%	нарощування ресурсів зловмисників
Z ₃ – внутрішня політична боротьба		
Z ₅	11,43%	незадовільна робота влади
Z ₆	60%	відсутність достатнього фінансування державних структур, що займаються проблемами інформаційної безпеки
Z ₁₁	11,42%	самоорганізація зловмисників у злочинні угруповання
Z ₁₄	17,14%	нарощування ресурсів зловмисників
Z ₄ – агресія держав		
Z ₆	28,57%	відсутність достатнього фінансування державних структур, що займаються проблемами інформаційної безпеки
Z ₇	15,65%	сприятливі умови для реалізації DDoS-атак
Z ₁₂	6,66%	доступність інформації про можливість реалізації DDoS-атаки
Z ₁₄	6,29%	нарощування ресурсів зловмисників
Z ₅ – незадовільна робота влади		
Z ₇	44,44%	сприятливі умови для реалізації DDoS-атак
Z ₁₃	22,22%	низький рівень кваліфікації співробітників
Z ₁₅	33,33%	застарілість використовуваного програмного та апаратного забезпечення

Продовження таблиці 13

1	2	3
Z_6 – відсутність достатнього фінансування державних структур, що займаються проблемами інформаційної безпеки		
Z_7	46,66%	сприятливі умови для реалізації DDoS-атак
Z_{15}	8,89%	застарілість використовуваного програмного та апаратного забезпечення
Z_8 – безкарність за проведення атак		
Z_7	13,69%	сприятливі умови для реалізації DDoS-атак
Z_{12}	5,83%	доступність інформації про можливість реалізації DDoS- атаки
Z_{14}	5,48%	нарощування ресурсів зловмисників
Z_9 – низький рівень виявлення атак		
Z_7	75%	сприятливі умови для реалізації DDoS-атак
Z_{11}	25%	самоорганізація зловмисників у злочинні угруповання
Z_{10} – легковажне ставлення до інформаційної безпеки		
Z_7	76,85%	сприятливі умови для реалізації DDoS-атак
Z_{13}	9,26%	низький рівень кваліфікації співробітників
Z_{15}	13,89%	застарілість використовуваного програмного та апаратного забезпечення
Z_{11} – самоорганізація зловмисників у злочинні угруповання		
Z_7	23,32%	сприятливі умови для реалізації DDoS-атак
Z_{13} – низький рівень кваліфікації співробітників		
Z_7	40%	сприятливі умови для реалізації DDoS-атак

Слід відмітити, що для сценарію реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці суспільства фактор «доступність інформації про можливість реалізації DDoS-атаки» суттєво не впливає на решту факторів та ним можна знехтувати, а фактори «правовий аспект», «організаційний аспект», «недостатня обізнаність працівників компанії» є такими, мінімізація впливу яких – першочергове завдання при запобіганні реалізації DDoS-атак для даного сценарію.

Також, як бачимо, для сценарію реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці держави фактори «правовий аспект», «організаційний аспект», «легковажне ставлення до інформаційної безпеки» та «застарілість використовуваного програмного та апаратного забезпечення» є такими, мінімізація впливу яких – першочергове завдання при організації процесу запобігання причинам реалізації DDoS-атак для даного сценарію.

4. Рекомендації щодо запобігання реалізації DDoS-атаки

Завершальним етапом проведеного дослідження природи DDoS-атак, виконаного із застосуванням когнітивного підходу, що включає сценарне прогнозування та ієрархічну структурування отриманих когнітивних карт із подальшим їх аналізом, є формування рекомендацій.

Першим кроком організації запобігання DDoS-у є визначення специфіки об'єкта захисту та вибір відповідного сценарію: DDoS-атаки як загрози безпеці особи; як загрози безпеці суспільства; як загрози безпеці держави.

Далі для обраного сценарію визначаємо множину факторів впливу й відповідно усуваємо чи мінімізуємо величину їх впливів. Кожний з отриманих факторів має певний пріоритет його усунення, тому необхідно дотримуватись такої послідовності нейтралізації їх впливів:

Сценарій реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці особи

1-й пріоритет:

- недосконалість законодавчої бази (правовий аспект);
- відсутність налагоджених процедур виявлення кіберзлочинців (організаційний аспект);
- доступність інформації про можливість реалізації DDoS-атаки;

2-й пріоритет:

- безкарність за проведення атак;
- низький рівень виявлення атак;
- недостатня обізнаність звичайних користувачів;

3-й пріоритет:

- провокація зловмисника до реалізації DDoS-атаки;
- грошовий інтерес зловмисників;
- невідповідна захищеність користувацьких ресурсів;
- нарощування ресурсів зловмисниками.

Сценарій реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці суспільства

1-й пріоритет:

- правовий аспект (недосконалість законодавчої бази);
- організаційний аспект (відсутність налагоджених процедур виявлення кіберзлочинців);
- недостатня обізнаність працівників компаній;

2-й пріоритет:

- безкарність за проведення атак;

3-й пріоритет:

- сприятливе для реалізації DDoS-у конкурентне середовище;
- провокація зловмисників до реалізації DDoS-атак;
- грошовий інтерес зловмисника;
- низький рівень виявлення атак;
- самоорганізація зловмисників у злочинні угруповання;
- нарощування ресурсів зловмисників;
- застарілість використовуваного програмного та апаратного забезпечення.

Сценарій реалізації DDoS-атаки як загрози безпеці держави

1-й пріоритет:

- недосконалість законодавчої бази (правовий аспект);

- відсутність налагоджених процедур виявлення кіберзлочинців (організаційний аспект);
- легковажне ставлення до інформаційної безпеки;
- застарілість використовуваного програмного та апаратного забезпечення;

2-й пріоритет:

- агресія держав;
- незадовільна робота влади;
- відсутність достатнього фінансування державних структур, що займаються проблемами інформаційної безпеки;
- безкарність за проведення атак;
- низький рівень виявлення атак;
- самоорганізація зловмисників у злочинні угруповання;
- низький рівень кваліфікації співробітників;

3-й пріоритет:

- внутрішня політична боротьба;
- сприятливі умови для реалізації DDoS-атак;
- доступність інформації про можливість реалізації DDoS-атаки;
- нарощування ресурсів зловмисників.

Висновки

В результаті проведення аналізу для кожного зі сценаріїв реалізації DDoS-атак, визначено перелік головних факторів, розподіл пріоритетів базисних факторів та їх доцільність розгляду. На основі отриманих результатів сформовано рекомендації щодо запобігання реалізації DDoS-атак.

Дослідження сценаріїв реалізації DDoS-атак показало, що отримані пріоритети для об'єктів захисту різних рівнів – особи, суспільства, держави – містять певні спільні фактори з найвищим пріоритетом:

- недосконалість законодавчої бази (правовий аспект);
- відсутність налагоджених процедур виявлення кіберзлочинців (організаційний аспект);

Обрані технології та методи використовуються вперше для вирішення визначених завдань та цілей проведеного дослідження. Перспективним напрямом подальшого дослідження можна вважати вирішення управлінських завдань вдосконалення існуючої системи забезпечення кібернетичної безпеки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Качинський А.Б., Ткач В.М., Поденко А.А. Ієрархія факторів типових сценаріїв реалізації DDOS-атак. Частина 1 // Математическое моделирование в экономике. – 2017. – № 1–2.
2. DDoS-атаки. Причины возникновения, классификация и защита от DDoS-атак [Електронний ресурс] / efsol.ru – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://efsol.ru/articles/ddos-attacks.html>
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иєрархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

Стаття надійшла до редакції 24.01.2017.

УДК 504.349

В.М. ТРИСНЮК

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЕКОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА І ЗДОРОВ'ЯМ НАСЕЛЕННЯ

***Анотація.** Розв'язано важливу науково-практичну задачу, яка полягає у визначенні закономірностей впливу окремих хімічних елементів на навколишнє середовище та здоров'я населення.*

***Ключові слова:** моніторинг, екологічна безпека, захворюваність, комплексний аналіз, здоров'я населення, техноприродна система.*

Вступ

Методологія оцінки екологічної ситуації, принципи застосування і розроблення інструментальних методів та математичних моделей для виявлення та ідентифікації аномалій параметрів стану екосистем за даними космічного і наземного моніторингу ґрунтуються на одному з пріоритетних напрямків – забезпечення екологічно та техногенно-безпечних умов життєдіяльності громадян і суспільства, збереження навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів. Рівень небезпеки технічного об'єкта для довкілля і здоров'я людини може бути різним – від найнезначнішого до критичного і навіть катастрофічного. При цьому сам рівень є досить невизначеним і, як правило, відповідає первинному екологічному стану довкілля. Тому дуже важливим є створення системи екологічної безпеки, яка б дозволяла керувати прогнозними впливами, стежити за змінами екологічної ситуації, впроваджувати заходи мінімізації впливу та оцінювати їх [1].

Працями багатьох дослідників, зокрема О.М. Адаменка, Г.І. Рудька, М.В. Крихівського та інших [1–3], доведена залежність між показниками забруднення зовнішнього середовища і захворюваністю населення.

Метою роботи є створення нових математичних моделей взаємозв'язків між показниками екологічного середовища та методів, спрямованих на покращення здоров'я населення.

1. Загальна постановка задачі

Дослідження зв'язків між показниками забруднення зовнішнього середовища і здоров'ям жителів є пріоритетним завданням з точки зору екологічної безпеки. Інформативність і наглядність результатам такого аналізу надають кількісні характеристики. Їх подальше використання в управлінських рішеннях має найбільш широкі можливості. Для вимірних величин стану екологічної ситуації SES і досліджуваних змін здоров'я Z зв'язок між ними може бути представлений у вигляді функціональної залежності:

$$Z = f(SES) + \varepsilon, \quad (1)$$

де ε – відхилення від однозначно визначеної функції, що не пов'язане з впливом екологічних чинників і похибкою вимірювання.

Визначення в (1) є регресійною залежністю Z від SES , або регресією Z на SES , а функція f – регресійною функцією. Змінну SES вважатимемо незалежною, а змінну Z – залежною. Задачею кореляційно-регресійного аналізу є встановлення факту наявності зв'язку між Z від SES і пошук функції f , що адекватно описує цей зв'язок.

Якщо будуть знайдені статистично значущі зв'язки між досліджуваними даними та вдасться з незначним відхиленням виразити залежну змінну у вигляді аналітичної функції від незалежної, то отриману функціональну залежність можна буде використати для прогнозування значень залежної змінної у діапазоні значень, які детально не досліджувались. Такий прогноз міститиме певну неточність, що залежить від точності апроксимації, величини відхилення ε та інтервалу, для якого знайдено аналітичну залежність. У різних діапазонах значень зміни незалежної змінної аналітична функція може бути не однаковою, що відповідає апроксимації кусково-неперервними залежностями. Щодо захворюваності населення, то зміні рівня чинника ризику в інтервалі між пороговими значеннями відповідають зміни показників здоров'я, тоді як в області нижче від порога чутливості і вище від порога насичення (ці порогові значення можуть бути різними для різних показників здоров'я) такого впливу не спостерігається [4].

Формалізуючи задачу аналізу екологічної ситуації певної території та вплив на здоров'я концентрацій окремих хімічних елементів, введемо позначення для концентрацій та типів хвороб. Концентрації забруднювачів в ґрунтах і поверхневих водах екологічних ділянок опишемо як $kz_{i,j}$, де i змінюється від 1 до 17, відповідаючи номерам екологічних ділянок (райони Тернопільської області, рис. 1), а j змінюється від 1 до 9, відповідаючи хімічним елементам (1 – Pb, 2 – Zn, 3 – Cd, 4 – Ca, 5 – Co, 6 – Mn, 7 – Mg, 8 – Cu, 9 – Ni). Ці змінні у формулі (8) визначають SES , тобто описують екологічну обстановку і є незалежними змінними. Їх в математичних моделях інколи називають незалежними, факторами-аргументами, екзогенними, предикаторними або пояснючими.

Змінні, що описують вплив стану навколишнього середовища, а саме захворюваність або смертність жителів певної території, будемо позначати з використанням міжнародної статистичної класифікації хвороб, травм і причин смерті. Позначимо: 1_x – хвороби крові та кровотворних органів; 2_x – хвороби органів дихання, серед яких 3_x – хронічний бронхіт, 4_x – бронхіальна астма; 5_x – хвороби органів травлення; 6_x – онкологічні захворювання.

Поширеність захворювань запишемо як $zx_{i,j}$. Індекс i задає номер екологічної ділянки (змінюється від 1 до 17), а j – номер типу захворюваності: 1 – всього, 2 – 1_x , 3 – 2_x , 4 – 3_x , 5 – 4_x , 6 – 5_x , 7 – 6_x . Інші типи: первинна захворюваність – $zxI_{i,j}$, $sm_{i,j}$ – смертність, $zzx_{i,j}$ – зміни в часі поширеності захворювань, $zzxI_{i,j}$ – зміни в часі первинної захворюваності. Індeksi i, j мають інтерпретацію, аналогічну до $zx_{i,j}$. Ці змінні в математичних моделях іноді називають відгукками, ендогенними, результуючими або пояснюваними.

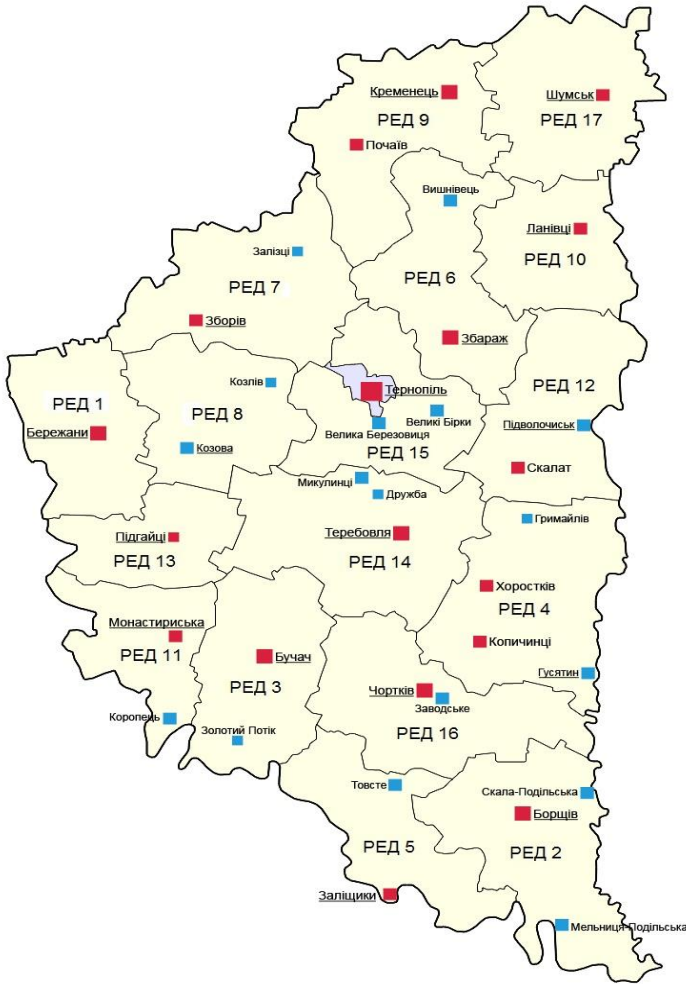


Рисунок 1 – Картохсхема районних екологічних діляниць Тернопільської області

Ще один тип змінних, які безпосередньо не вимірюються, позначимо як nek_i , де i – номер екологічної ділянки, що змінюється від 1 до 17. Ці латентні змінні відображають вплив рівня доходів населення, рівень медичного обслуговування, спадковість та похибки вимірювання.

Тепер можна сформулювати задачу аналізу даних екологічної ситуації території та медичного обслуговування населення. Необхідно побудувати таку векторну функцію:

$$fex(kz_{i,j}) = \begin{pmatrix} fex_1(kz_{i,j}) \\ fex_2(kz_{i,j}) \\ \dots \\ fex_m(kz_{i,j}) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

яку можна використовувати для розрахунку (прогнозування) в залежності від екологічних характеристик $(kz_{i,j})$ значення вихідних змінних $zx_{i,j}$, $zxI_{i,j}$, $sm_{i,j}$, $zxx_{i,j}$, $zxxI_{i,j}$. Функцію fex потрібно знаходити математичними методами, наприклад, методом найменших квадратів. Розв'язуючи цю задачу, необхідно починати зі з'ясування існування або відсутності статистично значущого зв'язку між $kz_{i,j}$ та nz_i $zx_{i,j}$, $zxI_{i,j}$, $sm_{i,j}$, $zxx_{i,j}$, $zxxI_{i,j}$. Шукати адекватну аналітичну залежність $fex_k(kz_{i,j})$ слід тільки у випадку існування такого зв'язку.

Тісноту статистичного зв'язку між випадковими змінними η (вихідна) і ξ (вхідна) показує [5] індекс кореляції $IK_{\eta,\xi}$:

$$IK_{\eta,\xi}^2 = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_\eta^2} = 1 - \frac{\sigma_{f(x)}^2}{\sigma_\eta^2}, \quad (3)$$

де $\sigma_f^2 = Df(\xi)$ – дисперсія функції регресії $y_{cp}=f(x)$, $\sigma_\eta^2 = D\eta$ характеризує повну варіацію (дисперсію) результуючої змінної η , а $\sigma_{f(x)}^2$ характеризує середню величину неконтрольованого залишкового випадкового компоненту. У формулі (3) змінна η відповідає одному зі стовпців матриць nz_i $zx_{i,j}$, $zxI_{i,j}$, $sm_{i,j}$, $zxx_{i,j}$, $zxxI_{i,j}$ для фіксованого значення j , а саме одному з типів захворюваності або смертності, а змінна ξ відповідає одному з 7, тобто одному з заданого набору концентрацій хімічних елементів.

У випадку нормального розподілу випадкових величин η і ξ індекс кореляції перетворюється на коефіцієнт кореляції:

$$r = \frac{E[(\xi - E\xi)(\eta - E\eta)]}{\sqrt{D\xi \cdot D\eta}} = \frac{\text{cov}(\xi, \eta)}{\sigma_\xi \cdot \sigma_\eta}, \quad (4)$$

де коваріація $\text{cov}(\xi, \eta)$ – другий центральний змішаний елемент двовимірної випадкової величини (ξ, η) , а σ_ξ і σ_η – середньоквадратичні (безумовні) відхилення відповідних компонент. Значення коефіцієнта кореляції деякої вибірки r' (статистична оцінка r' невідомого значення r) розраховується за відомими парами даних вхідної і вихідної змінної (ses_1, z_1) , $(ses_2, z_2), \dots, (ses_n, z_n)$ як:

$$r' = \frac{\sum_{i=1}^n (ses_i - \overline{ses})(z_i - \bar{z})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ses_i - \overline{ses})^2 \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}}, \quad (5)$$

де

$$\overline{ses} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ses_i \quad \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i. \quad (6)$$

Для вибірок невеликого об'єму ($n < 15$) точнішою оцінкою коефіцієнта кореляції є r^* :

$$r^* = r' \left[1 + \frac{1 - r'^2}{2(n - 3)} \right]. \quad (7)$$

Кожен з розрахованих коефіцієнтів кореляції слід перевіряти на значущість статистичної гіпотези $r' = 0$, тобто гіпотези про відсутність кореляційного зв'язку між досліджуваними змінними. Для цього застосовують характеристики розподілу Стьюдента [6]:

$$r^* = r' \left[1 + \frac{1 - r'^2}{2(n - 3)} \right]. \quad (8)$$

де $t_{0.05}(n-2)$ – 5-відсоткова точка розподілу Стьюдента з $n-2$ степенями свободи. Якщо рівність $r' = 0$ справедлива, тоді з ймовірністю 0,05 гіпотеза про відсутність статистичного зв'язку приймається.

Діапазон застосування визначають довірчі інтервали для істинного значення коефіцієнта кореляції r , що будуються, виходячи із нормальності розподілу r' . Відрізки $[r_1, r_2]$ обчислюються як:

$$r_{1,2} \approx r' + \frac{r'(1 - r'^2)}{2n} \pm u_{\frac{\alpha}{2}} \frac{1 - r'^2}{\sqrt{n}}, \quad (9)$$

де $u_{\frac{\alpha}{2}}$ – $100 \frac{\alpha}{2}$ %-ва точка стандартного нормального розподілу. Можна вважати, що істинне значення коефіцієнта кореляції r з імовірністю $1 - \alpha$ належить відрізку $[r_1, r_2]$.

Досліджуючи нелінійну залежність випадкових величин η і ξ , коефіцієнт кореляції r не вважається основною характеристикою тісноти зв'язку. Використовуючи набори даних $(ses_1, z_1), (ses_2, z_2), \dots, (ses_n, z_n)$, слід скористатися розрахунком за допомогою формули (10) індексу кореляції $IK_{\eta, \xi}$. Спочатку необхідно задатися типом функціональної залежності. Вибравши залежність:

$$y_{\eta\theta} = E(\eta | \xi = x) = f(x; \theta_0, \theta_1, \dots, \theta_p), \quad (10)$$

де f – фіксована відома функція з аргументом x , що залежить від $(p + 1)$ невідомих параметрів $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_p$. У цьому випадку оцінка $I_{\eta, \xi}^{r^2}$ індексу кореляції $I_{\eta, \xi}^2$ буде:

$$I_{\eta, \xi}^{\prime 2} = 1 - \frac{\frac{1}{n-p-1} \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, \theta'_0, \theta'_1, \dots, \theta'_p))^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (11)$$

де $\theta'_0, \theta'_1, \dots, \theta'_p$ – побудовані за допомогою апріорної інформації оцінки невідомих параметрів, що входять в опис функції регресії.

Тісноту зв'язку між кількома випадковими змінними можна визначити множинним коефіцієнтом кореляції $R_{\eta, \xi}$. Для випадкових величин η (ендогенна ознака) і багатовимірною величиною $\xi = (\xi^{(1)}, \xi^{(2)}, \dots, \xi^{(r)})$ (екзогенна змінна) він визначається формулою:

$$R_{\eta, \xi}^2 = 1 - \frac{\bar{\sigma}_{\eta(X)}^2}{\sigma_{\eta}^2}, \quad (12)$$

де варіація результуючого показника $\sigma_{\eta}^2 = D\eta$, а середня величина умовної дисперсії:

$$\bar{\sigma}_{\eta(X)}^2 = E_x D[\eta | \xi = X]. \quad (13)$$

Якщо розподіли випадкових змінних ses і z не можна вважати нормальними, використаємо непараметричні статистичні методи, наприклад метод рангових (порядкових) кореляцій. Він базується на характеристиці тісноти зв'язку коефіцієнтом Спірмена або Кендала. У випадку, коли у вибірках немає однакових значень, коефіцієнт рангової кореляції Спірмена розраховується за допомогою формули [7]:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (14)$$

де D – різниця відповідних пар рангів, а n – об'єм вибірки. В іншому випадку використовуються формули [5]:

$$r_{s.B} = 1 - \frac{6 \sum D^2}{(n^3 - n)(T_x + T_y)}, \quad (15)$$

$$T_x = \frac{1}{2} \cdot \sum (t_x^3 - t_x); \quad T_y = \frac{1}{2} \cdot \sum (t_y^3 - t_y), \quad (16)$$

де t_x – кількість однакових значень вхідної змінної, t_y – кількість однакових значень вихідної змінної, між якими виявляється залежність.

Множинний статистичний зв'язок між кількома порядковими змінними показує коефіцієнт конкордації (узгодженості), який розраховується за допомогою формули:

$$W'(m) = \frac{12}{m^2(n^3 - n)} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_i^{(k_j)} - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2, \quad (17)$$

де k_1, k_2, \dots, k_m – номери відібраних порядкових змінних із сукупності $x^{(0)}, x^{(1)}, \dots, x^{(p)}$, m – кількість змінних (порівнюваних впорядкованих послідовностей), n – кількість елементів впорядкованостей (об'єм вибірки).

Висновки

Вирішено важливу науково-практичну задачу, яка полягає у визначенні закономірностей впливу окремих хімічних елементів на навколишнє середовище та здоров'я населення.

Рівень небезпеки технічного об'єкта для довкілля і здоров'я людини може бути різним – від найнезначнішого до критичного і навіть катастрофічного. Тому дуже важливим є створення системи екологічної безпеки, яка б дозволяла керувати прогнозними впливами, стежити за змінами екологічної ситуації, впроваджувати заходи мінімізації впливу та оцінювати їх.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Trofymchuk O. Geo-information Technologies for Decision Issues of Municipal Solid Waste / O. Trofymchuk, V. Trysnyuk, N. Novokhatska, I. Radchuk // Journal of Environmental Science and Engineering A 3 (2014) s. 183–187.
2. Рудько Г. І. Конструктивна геоекологія : наукові основи та практичне втілення / Г. І. Рудько, О. М. Адаменко [за ред. Г. І. Рудька]. – К. : ТОВ «Маклаут», 2008. – 320 с.
3. Рудько Г. І. Землелогія. Еколого-ресурсна безпека Землі / Г. І. Рудько, О. М. Адаменко [за ред. Г. І. Рудька]. – К. : Академпрес, 2009. – 512 с.
4. Самойленко В. Г. Умови існування розв'язку неоднорідного диференціального рівняння другого порядку в просторі швидко спадних функцій / В. Г. Самойленко, Ю. І. Самойленко // Наукова публікація. 2012 р. С. 71–80.
5. Довгий С.О. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень : наук.-навч. вид. / С. О. Довгий, П. І. Бідюк, О. М. Трофимчук, О. І. Савенков; НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К. : Азимут-Україна, 2011. – 608 с. – Бібліогр.: – С. 600–607.
6. Stefanyshyn D.V. A method of decision making at risk in natural resources use by pairwise comparison of alternatives with taking account of risks of lost opportunities / D.V. Stefanyshyn, Yu.D. Stefanyshyna // Proc. of Int. Scientific School «Modelling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems». July 7-11, 2009. – S.-Petersburg, Russia. – P.P. 435–439.
7. King E. G. Identfying Linkages Amond Conceptual Models of Ecosystem Degradation and Restoration : Towards an integrative Framework / E. G. King and R. J. Hobbs // Restoration Ecology, 2006. – Volume 14, Issue 3. – PP. 369–378.

Стаття надійшла до редакції 18.11.2017.

УДК 004.942

О.В. КОПІЙКА, А.Г. КОНДРАТЮК

ЗМІНА БІЗНЕС-МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ІТ НА ПІДПРИЄМСТВІ У ЗВ'ЯЗКУ З РОЗВИТКОМ СЕРВІСНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕКОНОМІКИ

***Анотація.** Пропонується використання методів багатокритеріальної оптимізації для побудови сучасної бізнес-моделі управління ІТ на підприємстві у зв'язку з переходом до сервісно-орієнтованої інформаційної економіки.*

***Ключові слова:** бізнес-модель, бізнес-мета, інформаційні технології (ІТ), ІТ-мета, ІТ-послуги, прийняття рішень при багатьох критеріях, методи багатокритеріальної оптимізації.*

Вступ

Інформація стає все більш цінним активом бізнесу, а в багатьох випадках – основним. Швидкий розвиток інформаційних технологій (ІТ) усунув фізичні бар'єри для виробництва й передачі інформації, змінилося наше розуміння того, яким чином інформація здобувається (виробляється) й споживається. Сучасний інформаційно-технологічний світ усе частіше складається з сервісів зберігання й передачі інформації через "хмару", пропозиції програмного забезпечення як сервісу (SaaS) від постачальників програмного забезпечення (ПЗ) і т.п.

За однаковими прогнозами провідних консалтингових компаній світу, швидке вдосконалення та поширення хмарних технологій (cloud computing) зараз є одним з тих ключових трендів, що в найближчі роки помітно вплинуть на глобальний розвиток не лише ІТ-індустрії, але й бізнесу, фінансів, державного управління, медицини, освіти і багатьох інших сфер людського життя [1]. В умовах випереджаючого розвитку інформаційних комп'ютерних технологій (ІКТ) і чергового спаду світової економіки технологія, яка, наприклад, дозволяє організаціям та іншим суб'єктам відмовитись від значних витрат на власну ІТ-інфраструктуру на користь отримання всіх необхідних ІТ-ресурсів онлайн, розглядається як перспективний та рентабельний модернізаційний вибір, оптимальна інвестиція в майбутнє.

Все вищезазначене визначає актуальність питання зміни бізнес-моделі управління ІТ на підприємстві у зв'язку з розвитком сервісно-орієнтованої інформаційної економіки.

Існує значна кількість досліджень з цієї теми [1–6]. Важливим є те, що еволюція управління ІТ-послугами відбувалася більш-менш синхронно відносно фундаментальних змін в суспільстві й, таким чином, була неминуча.

Отже, метою цієї статті є презентація підходів до побудови бізнес-моделі управління ІТ на підприємстві із врахуванням задоволення потреб бізнес-підрозділів в сучасній сервісно-орієнтованій інформаційній економіці технологій.

1. Виклад основного матеріалу дослідження

Можна виділити три етапи еволюціонування мети управління ІТ-послугами й результатів ІТ-діяльності:

- управління ІТ-інфраструктурою;
- управління ІТ-сервісами;
- управління інформаційними бізнес-сервісами.

Більш докладно ці етапи описано в таблиці 1. Кожний з них можна, з певним ступенем точності, пов'язати зі зміною розуміння ролі ІТ у компанії – переходу від технологічного підрозділу через сервісно-технологічне до повноцінного партнерства (рис. 1).

Таблиця 1 – Три етапи еволюції управління ІТ

Етап	Задачі	Пріоритети	Характерні риси
Етап 1	Управління ІТ-інфраструктурою	Стабільність і контроль ІТ-інфраструктури	– ІТ-департамент є постачальником ІТ-систем; – мета управління ІТ – мінімізація переривань у роботі ІТ-систем.
Етап 2	Управління ІТ-сервісами	Якість й ефективність ІТ-процесів	– ІТ-департамент є постачальником технологічних сервісів; – мета управління ІТ – підтримка погоджених параметрів надання ІТ-сервісів.
Етап 3	Управління інформаційними бізнес-сервісами	Максимальна значущість цінності ІТ	– ІТ-департамент є постачальником інформаційних бізнес-сервісів; – мета управління ІТ – максимально точна відповідність потребам бізнесу.

Вочевидь, що завдяки підвищенню ролі й значення ІТ у компанії, повинна відбуватися еволюція розуміння мети управління ІТ-послугами й результатів ІТ-діяльності. Відповідно в тому ж напрямку: від більш простих і технологічних завдань і продуктів (ІТ-систем), до більш складних і комплексних, саме тому вони вагомніше впливають на діяльність компанії (бізнес-орієнтовані інформаційні сервіси) [6].

Не менш вагомим є те, що еволюцію в розумінні мети керування ІТ-послугами й результатів ІТ-діяльності можна асоціювати зі зрушенням у суспільній свідомості: переходу від продуктово-орієнтованої виробничої економіки до сервісно-орієнтованої інформаційної економіки (звичайно, з визначеною долею умовності, тому що зміна економічної парадигми відбувалася досить повільно й поступово).

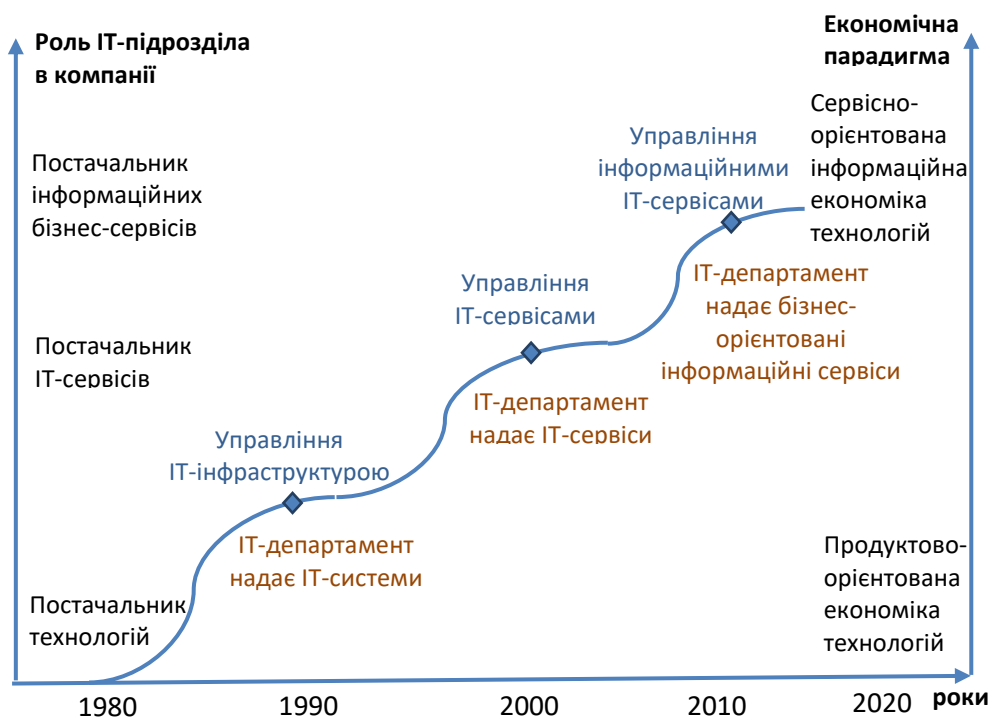


Рисунок 1 – Етапи в еволюції мети управління IT-послугами й результатів IT-діяльності

Крім загальноринкових факторів, еволюція розуміння того, що ж є результатом IT-діяльності, була викликана необхідністю дати основу для відповідей на складні практичні питання, що існують в області IT.

Безумовно, споживачеві потрібна не IT-система як така, а результат її діяльності. І одержання цього результату може вимагати і, як правило, вимагає більшої кількості активів, ніж наявність тільки лише IT-системи. Не можна задовольнити комплексні потреби бізнесу, якщо зробити центральним предметом діалогу тільки IT-системи. Рух уперед починається зі спільного розуміння спільної мети й завдань.

Підсумовуючи вищезазначене, необхідно зауважити, що інформація є критично важливим ресурсом для всіх підприємств. На всіх етапах свого життєвого циклу інформація критичним чином залежить від спеціалізованих технологій. Інформація та інформаційні технології, які динамічно розбудовуються, є життєво важливими для сучасних підприємств: як суспільних, державних, так і комерційних.

Тому сьогодні, більше, ніж будь-коли, підприємства і їх керівники зобов'язані:

- Підтримувати високу якість інформації для прийняття управлінських рішень.
- Створювати цінність для бізнесу, реалізуючи інвестиції, пов'язані з IT, тобто досягати стратегічної мети й одержувати прибуток шляхом ефективного й інноваційного використання IT.

- Удосконалювати операційну модель, надійно та раціонально застосовуючи технології.
- Забезпечувати прийнятний рівень ІТ-ризиків.
- Оптимізувати витрати на ІТ-послуги й технології.
- Підвищувати ступінь дотримання законів, норм, договірних зобов'язань і політик, пов'язаних із застосуванням ІТ.

Таким чином, сучасними характеристиками впровадження ІТ є:

- управління інформаційними бізнес-сервісами;
- підвищення цінності ІТ;
- ІТ-департамент стає постачальником інформаційних бізнес-сервісів;
- мета управління ІТ – максимально точна відповідність потребам бізнесу.

Виходячи з цього, пропонуємо для підвищення ефективності впровадження ІТ на підприємстві використовувати методологію СОВІТ 5, яка покликана допомогти в розв'язанні завдання керівництва й управління ІТ на підприємстві [7].

Застосування цієї методології допомагає підприємствам досягти оптимальної ефективності від впровадження ІТ, підтримуючи баланс між одержанням вигоди й оптимізацією ризиків і ресурсів.

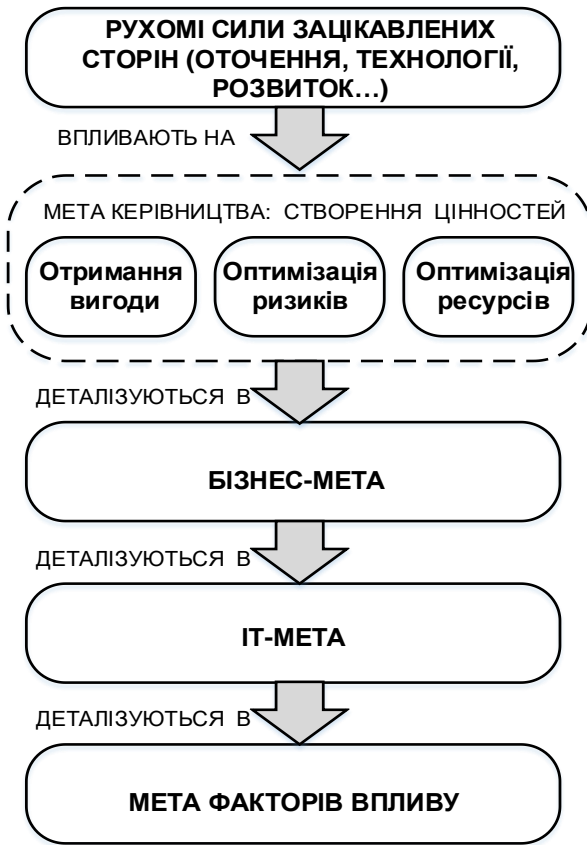


Рисунок 2 – Принципи СОВІТ 5

Впровадження методології надасть можливість керувати й управляти ІТ у масштабах усього підприємства, як у сфері функціональної відповідальності ІТ, так і бізнесу, а також дозволяє враховувати потреби в ІТ внутрішніх і зовнішніх зацікавлених сторін. Методологія універсальна й буде корисна підприємствам будь-якого масштабу й сфери діяльності: комерційним, суспільним і державним.

Методика ґрунтується на п'ятьох принципах керівництва й управління ІТ на підприємстві, що зображені на рисунку 2:

Принцип 1: Відповідність вимогам зацікавлених сторін. Підприємства існують для того, щоб створювати цінність для зацікавлених сторін, шляхом підтримки балансу між одержанням вигоди й оптимізацією ризиків і ресурсів.



Методика описує всі необхідні процеси й інші фактори впливу, які підтримують створення бізнес-цінності за допомогою ІТ. Оскільки завдання, що стоять перед кожним підприємством, можуть бути різними, можна модифікувати модель так, щоб ці рекомендації підходили до конкретного контексту даної організації. Зробити це можна за допомогою каскадування високорівневих завдань підприємства до рівня керованих і конкретних ІТ-завдань і пов'язаних з ними процесів і практик.

Рисунок 3 – Каскад мети

Принцип 2: Комплексний погляд на підприємство. Методика вбудовує керівництво ІТ у керівництво підприємства у цілому, тобто:

– розглядає всі функції й процеси підприємства. Методика спрямована не тільки на реалізацію «ІТ-функції», а й розглядає інформацію та пов'язані з нею активи підприємства, якими слід управляти, як і будь-якими іншими активами;

– ґрунтується на тому, що фактори впливу керівництва й управління, пов'язані з ІТ, працюють на всьому підприємстві й ланцюжку створення цінності і містять у собі всі внутрішні й зовнішні аспекти й ролі, які мають стосунок до керівництва й управління ІТ.

Принцип 3: Застосування єдиної інтегрованої методології. Існує множина пов'язаних з ІТ стандартів, що стосуються окремих аспектів ІТ-діяльності. У методиці реалізована відповідність цим стандартам. Таким чином, методика забезпечує інтеграційний підхід для організації керівництва й управління ІТ на підприємстві.

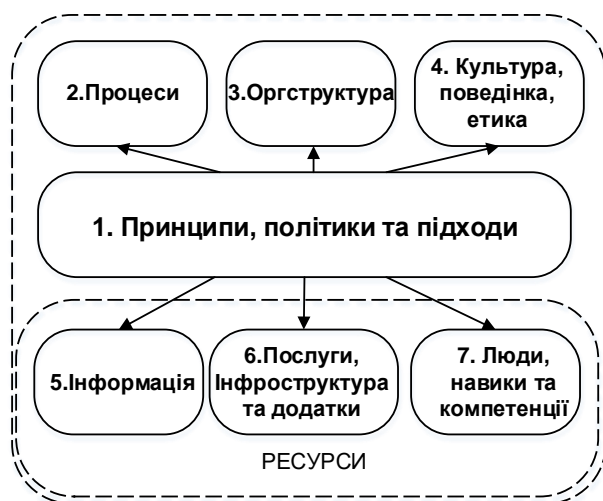


Рисунок 4 – Фактори впливу

завдань підприємства. Методика описує сім видів факторів впливу (рис. 4): принципи, політики й підходи; процеси; організаційна структура; культура, етика й поведінка; інформація; послуги, інфраструктура й додатки; персонал, навички й компетенції.

Принцип 5: Відокремлення керівництва й управління. Методика проводить чітку межу між керівництвом й управлінням. Ці дві дисципліни містять у собі різні види діяльності, вимагають різних організаційних структур і служать різній меті. У розумінні методики, різниця між керівництвом і управлінням полягає в наступному:

У більшості випадків обов'язки з керівництва на підприємстві виконує рада директорів, яка очолена головою ради директорів.

Деякі обов'язки можуть бути делеговані спеціальним організаційним одиницям відповідного рівня – особливо у великих організаціях.

Значною мірою обов'язки з управління на підприємстві виконують виконавчі директори, очолювані генеральним директором (СЕО). Разом ці принципи допомагають побудувати ефективну методологію керівництва й управління, що оптимізує інвестиції в інформаційні технології для одержання вигоди зацікавленими сторонами.

Беручи до уваги сформульовані п'ять принципів, мета підприємства та мета впровадження ІТ узгоджуються наступним чином (табл. 2).

Важливість цієї мети полягає в тому, що вона дозволяє визначити пріоритети впровадження, удосконалення й гарантує наявність керівництва ІТ на підприємстві на основі розуміння (стратегічної) мети підприємства, а також зв'язаних ризиків. На практиці ця мета:

– визначає важливі й обґрунтовані цілі й завдання на різних рівнях відповідальності;

– дозволяє витягти з бази знань усі дані про визначені цілі підприємства, які можуть знадобитися в проектах впровадження, удосконалення або оцінки якості;

– ясно визначає і демонструє (у деяких випадках дуже докладно) те, яким чином фактори впливу допомагають у досягненні мети підприємства.

Принцип 4: Забезпечення цілісності підходу. Ефективне й раціональне керівництво й управління ІТ на підприємстві вимагає структурованого підходу з урахуванням багатьох взаємозалежних компонентів мети.

У методиці описаний набір факторів впливу, які забезпечують впровадження системи керівництва й управління ІТ на підприємстві. Фактори впливу – це сутності, які сприяють вирішенню

Таблиця 2 – Зв’язок мети підприємства з головними завданнями керівництва («Р» означає прямий зв’язок, а «S» – непрямий, тобто менш сильний)

Вимірювання збалансованої мапи показників	Мета підприємства	Зв’язок із завданнями керівництва		
		Одержання вигоди	Оптимізація ризиків	Оптимізація ресурсів
Фінанси	1. Прибуток від інвестицій для зацікавлених сторін	P		S
	2. Портфель конкурентоспроможних товарів і послуг	P	P	S
	3. Керовані бізнес-ризиків (захист активів)		P	S
	4. Відповідність зовнішнім законам і регулюючим нормам		P	
	5. Фінансова прозорість	P	S	S
Замовник	6. Сервісна культура орієнтована на клієнта	P		S
	7. Безперервність і доступність бізнес-послуг		P	
	8. Гнучка реакція на мінливі умови ведення бізнесу	P		S
	9. Прийняття стратегічних рішень на основі інформації	P	P	P
	10. Оптимізація витрат на надання послуг	P		P
Внутрішнє управління	11. Оптимізація функціональності бізнес-процесів	P		P
	12. Оптимізація витрат бізнес-процесів	P		P
	13. Керування програмами бізнес-змін	P	P	S
	14. Операційна продуктивність персоналу	P		P
	15. Дотримання внутрішніх політик		P	
Навчання та розвиток	16. Кваліфікований і мотивований персонал	S	P	P
	17. Культура довгострокових інновацій продуктів та бізнесу	P		

Таблиці відповідності між метою підприємства й ІТ-цілями (табл. 3) не є безперечною істиною в останній інстанції, і потрібно використовувати її не буквально, а як підказку.

Таблиця 3 – Цілі ІТ

Вимірювання збалансованої мапи показників	Мета інформаційних і пов'язаних з інформацією технологій
Фінанси	1. Відповідність між ІТ- і бізнес-стратегіями
	2. Відповідність зовнішньому законодавству та регулюючим вимогам в галузі ІТ та підтримка бізнес-відповідності
	3. Лідируюча роль вищого керівництва в прийнятті рішень в області ІТ
	4. Керовані бізнес-ризиками, пов'язані з використанням ІТ
	5. Реалізація прибутку від портфеля ІТ інвестицій і послуг
	6. Прозорість ІТ-витрат, вигід і ризиків
Замовник	7. Надання ІТ-послуг у відповідь на бізнес-вимоги
	8. Адекватне використання додатків, інформації й технічних рішень
Внутрішнє управління	9. Гнучкість ІТ
	10. Безпека інформації, що обробляє інфраструктури й додатки
	11. Оптимізація ІТ-активів, ресурсів і здібностей
	12. Забезпечення роботи й підтримка бізнес-процесів, шляхом інтеграції додатків і технологій у бізнес-процеси
	13. Здобуття вигоди з програм і проектів, що виконуються у визначені терміни, бюджет та відповідність вимогам і стандартам якості
	14. Доступність надійної та потрібної інформації для прийняття рішень
Навчання та розвиток	15. Дотримання внутрішніх політик
	16. Компетентний і мотивований персонал ІТ
	17. Знання, експертиза й ініціативність для здійснення бізнес-інновацій

Отже, кожне підприємство повинно вибудовувати власну мету, уточнюючи та деталізуючи її у відповідності до збалансованої мапи показників (фінанси, замовник, внутрішнє управління та навчання та розвиток), окрім цього, виконується задача ефективного впровадження ІТ, яка пов'язана з пріоритетами розвитку бізнесу.

У цьому випадку завдання схвалення рішення є багатокритеріальним. Тому окремої уваги заслуговують питання пошуку причин подібної багатокритеріальності й можливості використання для каскаду мети відповідних математичних методів.

Таким чином, мета «Впровадження ІТ» зводиться до встановлення значень більшого числа якісних і кількісних параметрів – часткових цілей. Ці цілі можуть конкурувати між собою.

Наступна причина багатокритеріальності задач прийняття рішень – вплив фактора часу – простору. І результати діяльності, і витрати розподілені, тому доводиться порівнювати «цінність» впровадження ІТ сьогодні, завтра й через рік, перспективи розвитку і т.п. Відомі прийоми згортки (наприклад, для розподілу в часі – дисконтування) несуть у собі неабияку частку суб'єктивізму (причому суб'єктивізму автора методики, а не експерта – особи, що приймає рішення (ОПР)).

Постановка задач прийняття рішень при багатьох критеріях принципово пов'язана із двома аспектами. З одного боку, ці задачі близькі до задач прийняття рішень в умовах невизначеності, тому що різні варіанти рішень повинні оцінюватися також і відносно ймовірності їх успіху й пов'язаного із цим ризику. З іншого боку, у багатокритеріальних задачах прийняття рішень в умовах визначеності урахування великої кількості критеріїв засноване на відмові від традиційного допущення того, що вибір однієї з альтернатив завжди здійснюється на підґрунті лише одного критерію. У таких ситуаціях скалярне завдання оптимізації замінюється завданням векторної оптимізації.

Прагнення урахування цих двох аспектів вимагало розробки математичної моделі, яка відображала б багатомірну систему цільових функцій у скалярній критерій оптимальності. Такий підхід вимагає допущення в особи, що приймає рішення, наявності спеціальних функцій переваги. Справедливість цього припущення заздалегідь не очевидна. Однак цей напрямок має досить розвинену теорію розв'язків таких завдань [8–12].



Рисунок 5 – Класифікація методів рішення багатокритеріальних задач

Конкретна реалізація принципів прийняття рішень виступає у вигляді алгоритмів або процедур розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації (БКО). Практично всі відомі підходи до розв'язку цих завдань припускають їх скалярізацію. При цьому одним з головних питань є облік переваг ОПР у процесі вибору найкращого рішення. Відповідно до цього принципу методи рішення завдань багатокритеріальної оптимізації можна класифікувати відповідно до характеристики інформації про переваги ОПР:

- ухвалення рішення в умовах визначеності;
- ухвалення рішення в умовах відсутності інформації про систему переваги ОПр;
- ухвалення рішення в умовах поступового одержання інформації про систему переваги ОПр.

Класифікація багатокритеріальних методів прийняття рішень наведена на рис. 5.

Висновки

1. Обґрунтовано необхідність врахування особливостей переходу від продуктово-орієнтованої виробничої економіки до сервісно-орієнтованої інформаційної економіки при побудові бізнес-моделі управління ІТ на підприємстві.

2. Запропоновано використовувати методи рішення завдань багатокритеріальної оптимізації як математичного апарату для встановлення значень більшого числа якісних і кількісних параметрів – часткових цілей, що конкурують між собою. Адже кожне підприємство вибудовує власну мету, яка з часом змінюється та потребує деталізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Перспективи розвитку ринку хмарних обчислень в Україні: переваги та ризики. Аналітична записка. Національний інститут стратегічних досліджень. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1191/>. – Назва з екрану.
2. Бізнес-моделі SaaS та PaaS. Особливості реалізації та законодавчого регулювання в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://plp.kiev.ua/ua/publications/170-business-models-saas-paas>. – Назва з екрану.
3. Голидбїна А. В., Язвінська Н. В. Особливості сучасного ринку ІТ-послуг та специфіка просування на ньому [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/108738>. – Назва з екрану.
4. Копейка О. В. Проектирование сервисов инфраструктуры приложений в дата-центрах / О. В. Копейка // Телекоммуникаційні та інформаційні технології. – 2014. – № 1. – С. 19–27.
5. Копейка О. В. Архитектура системы управления ИТ-инфраструктурой в современных Дата-центрах / О.В. Копейка // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – № 1(29). – С. 29–37.
6. Информационные сервисы в XXI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://itclub-vologda.ru/sites/default/files/news/attachment/information_services_xxi_information_management_3_2013.pdf – Назва з екрану.
7. COBIT 5: Бизнес-модель по руководству и управлению ИТ на предприятии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.isaca.org/cobit/pages/default.aspx>
8. Волошин О. Ф. Модели та методи прийняття рішень: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О. Ф. Волошин, С. О. Мащенко. – 2-ге вид., перероб. та допов. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. – 336 с.
9. Экономико-математические методы и прикладные модели: Учеб. пособие для вузов / Федосеев В.В., Гармаш А.Н., Дайитбегов Д.М. и др.; Под ред. Федосеева В.В.. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 391 с.
10. Лотов А.В., Поспелова И.И.. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

11. Васильев Ф. П. Методы оптимизации – М.: Факториал Пресс, 2002. – 415 с.
12. Беркман, Л. Н. Теоретичні основи методології синтезу інформаційно-комунікаційних систем / Л. Н. Беркман, О. В. Копійка // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №4. – С. 12–20.

Стаття надійшла до редакції 21.02.2018.

УДК 651.4.9 : 004

Ю.Л. ТИХОНОВ

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОПИСУ ЕКОНОМІЧНИХ І НАВЧАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ В Е-ОСВІТІ ЗА МАТЕМАТИЧНИМИ ЗАЛЕЖНОСТЯМИ ТИПУ ПАРЕТО

***Анотація.** Розглядаються підходи до формалізації опису процесів в е-освіті. Визначаються можливості використання математичних залежностей типу Парето для цих цілей. Побудовано подібні залежності для прогнозу попиту на навчання і для порівняння якості фрагментів при онтологічному підході в е-освіті.*

***Ключові слова:** е-освіта, формалізація опису процесів в е-освіті, залежності типу Парето, онтологічний підхід, прогноз попиту на навчання.*

Вступ

Освіта (і е-освіта) відносяться до соціально-педагогічних систем, які важко формалізуються у порівнянні з фізичними процесами. Для зазначених систем, як і для економіки, характерною є ситуація невизначеності. Це знижує можливості побудови математичних моделей.

Однак в економіці такі моделі успішно працюють [1–5] та відомі математичні описи, що успішно використовуються в оперативному контролі рівня підготовки учнів [6, 7].

Загальні економічні закони, природно, проявляють свою дію і в освіті. Залежності попиту та пропозиції на освітні послуги і інші показники аналогічні напрацьованим в економіко-математичних дослідженнях. Крім того, математичний опис процесів в е-освіті дає можливість оцінювати ефективність використання ресурсів інформаційних технологій, від яких істотно залежить якість і рівень освіти [8, 9].

Мета роботи – розглянути підходи до формалізації опису процесів в е-освіті, можливості використання математичних залежностей типу Парето. Побудувати подібні залежності для деяких процесів в е-освіті.

1. Крива Парето

Сьогодні існує ряд моделей, які використовують математичний опис в економіці, логістиці та інших видах. Цікавим є наступний приклад залежності (кривої) Парето [10–12], яка з'явилася в економіці як крива розподілу доходів населення (рис. 1).

© Ю.Л. Тихонов, 2018

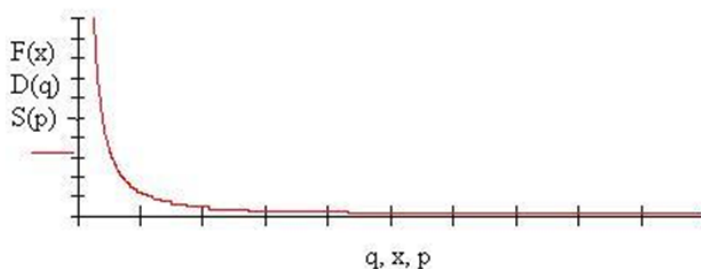


Рисунок 1 – Крива Парето

На рисунку: x – сума отриманого доходу, $F(x)$ – кількість осіб, що отримують такий дохід. Такий же вигляд має в економіці крива попиту. На рисунку: q – ціна блага, $D(q)$ – попит при цій ціні. Подібний вид має в логістиці крива собівартості перевезень [13]. На рисунку: p – обсяг вантажообороту (тис. т/км), $S(p)$ – собівартість перевезення однієї т/км.

В економіці використовується підхід, заснований на аналізі масиву вихідних даних, який дозволяє сформулювати, як правило, кілька припущень про вид аналітичного зв'язку.

Побудована модель використовується для формулювання припущень про характер закономірності в розвитку досліджуваного явища. Один з найбільш часто використовуваних видів аналітичних залежностей при побудові моделей – експоненціальна $y = e^{a+bx+\varepsilon}$. Наприклад, одна з використовуваних нелінійних регресій – експоненціальна $y = e^{a+bx+\varepsilon}$. У багатьох моделях використовується негативний показник ступеня, що призводить до залежностей типу Парето. У моделі Блека-Шоулза [14] для визначення ціни опціону "put" обчислюється

$$P(S, t) = Ke^{-r(T-t)}N(-d_2) - SN(-d_1),$$

де:

S – поточна ціна базисної акції;

$N(x)$ – ймовірність того, що відхилення буде менше x в умовах стандартного нормального розподілу;

K – ціна виконання опціону;

r – безризикова процентна ставка;

$(T-t)$ – час до закінчення терміну опціону (період опціону).

2. Крива Парето з точки зору процесів е-освіти

При побудові моделі залежності попиту товару від його ціни при виборі виду залежності враховують, що при збільшенні ціни попит падає і використовується залежність з негативним показником ступеня $y = e^{-bx}$, ($b > 0$).

Як уже зазначалося, загальні економічні закони, природно, діють і в освіті. Залежність попиту на навчання, відповідно до напрацювань в економіко-математичних дослідженнях, має вигляд $p(q) = e^{-b \cdot q + a}$. Попит на навчання в галузі інформатики буде визначатися як криві виду, представленого на рис. 2, в залежності від параметрів a , b .

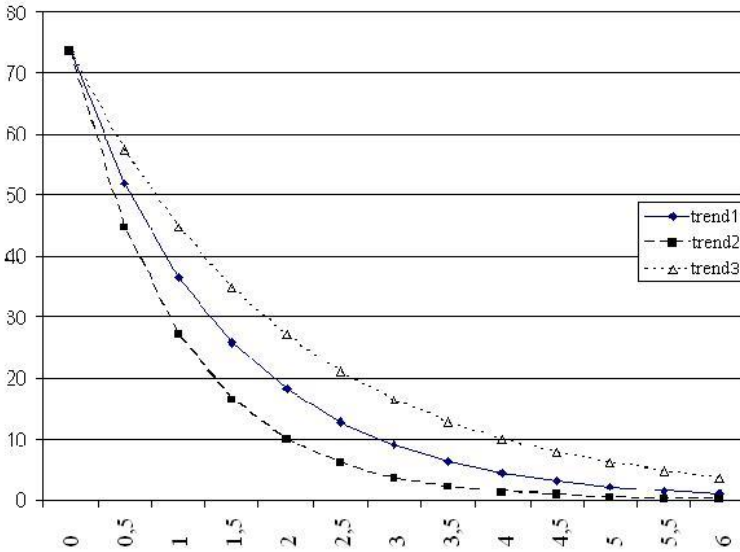


Рисунок 2 – Попит на навчання з інформатики в залежності від параметрів a, b, що визначаються конкретними умовами

На рисунку по осі абсцис позначена ціна навчання (тис. грн), по осі ординат – попит, що виражається в кількості поданих заяв до вступу. Прогноз попиту описаний залежністю $p(q) = e^{-b \cdot q + a}$. При $a = 4.3$ і b , що приймає значення 0.7, залежність має вигляд кривої типу Парето trend1, при $b = 1$ – trend2, $b = 0.5$ – trend3.

Використаємо підсумки зарахування на спеціальність "Інформатика" в ЛНПУ за 1994–2006 роки (табл. 1) для прогнозу попиту на навчання з інформатики на 2007 рік.

Таблиця 1 – Зарахування на спеціальність "Інформатика"

Год	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Оплата (т.грн)	0,2	0,4	0,7	0,95	1,2	1,45	1,7	2	2,5	3	3,7	4	5
зачислено	50	50	45	40	38	32	28	29	26	26	33	25	19

Підсумки зарахування та прогноз попиту подано графічно на рис. 3.

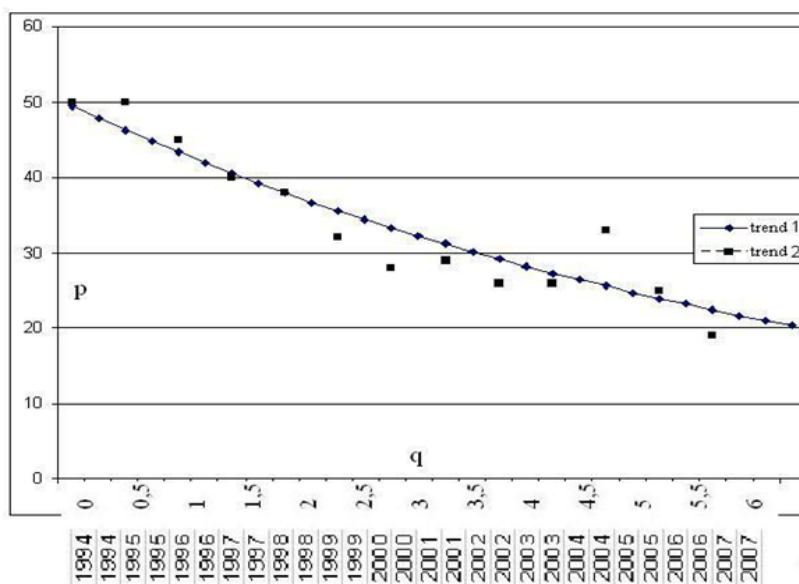


Рисунок 3 – Прогноз попиту на навчання

На рисунку по осі q позначена ціна навчання (тис. грн) за 1994–2006 рр., по осі p – кількість поданих заяв до вступу (trend2). Прогноз попиту описаний залежністю

$$p(q) = e^{-b \cdot q + a},$$

де $a = 3,9$ і $b = 0,15$ (trend1).

Відхилення пов'язані з відкриттям нової комп'ютерної спеціальності і переорієнтацією цільових установок абітурієнтів у 2004 р.

У 2007 році необхідно було заповнити 18 позабюджетних місць. З прогнозу видно, що є резерв підвищення ціни.

2. Залежності типу Парето при онтологічному підході в е-освіті

До онтологічних аспектів якості електронних курсів (ЕК) відноситься коло питань, починаючи від структуризації понять предметних дисциплін (ПдД), що підлягають перевірці на предмет засвоєння знань.

Онтологічний підхід дає можливість порівнювати якість фрагментів ЕК з використанням гіллястості онтографу комп'ютерних онтологій (КО), що виникає через структурування концептів ПдД по окремих аспектах опису. Для цього за результатами онтологізованого тесту по гілках ЕК підраховується сумарна кількість студентів, які одержали бали, що потрапили в певний інтервал. Наприклад, [15, 16] використані результати тестів по 100 студентах різних груп ЛНУ за фахом інформатика за 4 роки (табл. 2). В результаті отримали статистику розподілу балів по гілках ЕК по кількості студентів, що одержали цей бал.

Таблиця 2 – Розподіл балів по кількості студентів, що одержали цей бал

Бал	50	51	52	53	54	55	56	57	58
	18	0	0	0	0	15	0		
Бал	68	69	70	71	72	73	74	75	76
	0	2	0	5	1	4	0	1	2
Бал	86	87	88	89	90	91	92	93	94
	0	1	0	4	2	2	0	0	0
Бал	59	60	61	62	63	64	65	66	67
	1	9	0	0	5	3	4	6	0
Бал	77	78	79	80	81	82	83	84	85
	4	0	0	0	0	5	0	2	4
Бал	95	96	97	98	99				
	0	0	0	0	0				

У таблиці позначено бали, другий рядок – кількість учнів, які одержали цей бал. Нулі в таблиці пояснюються логікою тесту.

Отриману статистику використовуємо наступним чином.

Зведемо розподіл балів по кількості студентів, що одержали певний бал, для гілки l у таблицю (див. табл. 3).

Таблиця 3 – Розподіл балів для гілки l

Інтервал балів	0-20	21-49	50-62	63-68	69-74	75-78	79-82	83-85	86-89	90-94	95-100
Буквені оцінки	F	FX	E	D	D	C	C	B	B	A	A
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S_i^l	0	0	43	18	12	8	6	4	5	4	0

У таблиці позначено:

– S_i^l ($i = 1, 2, \dots, 11$; $l = 1, 2, \dots, L$) – сумарна кількість студентів, що одержали бали, що потрапили в певний інтервал для гілки l ;

– i – номер інтервалу.

S_i^l визначалося за екзаменаційними відомостями чотирьох груп студентів (100 студентів). Крива S^l (рис. 4) побудована на основі розподілу балів по кількості студентів для однієї гілки онтографу ПдД.

Побудуємо графічне зображення розподілу балів по дисципліні по кількості студентів, що одержали певний бал. Зі збільшенням бала зменшується кількість студентів, що одержали його. Ця тенденція пояснюється тим, що на вищий бал звичайно претендує менша кількість студентів. Такі залежності можна представляти графічно як криві типу S^l , що обгинають діаграму Парето [10, 17] (рис. 4). Зокрема, такий метод контролю якості освіти використовує Японський союз учених і інженерів.

Подібну криву можна побудувати для кожної гілки. Отже, при тестуванні на групі студентів виникає породжене онтографом ПдД сімейство розподілів балів по гілках онтографу ПдД, що позначено, як зазначено вище, $\{S^l\}$ ($l = 1 \div L$, L – число гілок онтографу ПдД), та усереднена по гілках онтографу крива S_{mid} .

S_{mid} отримана як графічне зображення апроксимації точок S_i^{mid} .

S_i^{mid} – усереднена по гілках онтографу кількості студентів, що одержали бали, які потрапили в певний інтервал з таблиці 3.

$$S_i^{mid} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L S_i^l.$$

Для тих кривих із сімейства $\{S^l\}$, які розташовані далі від S_{mid} , частина ЕК, яка відповідає фрагменту онтографу, що відповідає S^l з найбільшим відхиленням від S_{mid} , має потребу в модифікації.

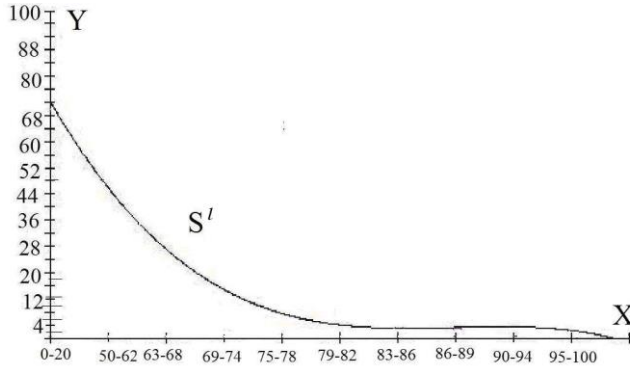


Рисунок 4 – Крива апроксимації розподілу балів (Y) по кількості студентів (X), що одержали цей бал

На рисунку по осі X відзначені бали, по осі Y – кількість студентів, S^l – крива розподілу балів для l -ї гілки онтографу ПдД.

Для сімейства кривих $\{S^l\}$ ($l = 1 \div L$, L – число гілок онтографу ПдД) будемо криву S_{mid} усереднену по гілках онтографу.

Вона використовується для знаходження фрагмента онтографу, що відповідає кривій розподілу балів з найбільшим відхиленням від середньої. Частина ЕК, що відповідає такому фрагменту онтографу, у першу чергу має потребу в модифікації.

Висновки

Таким чином, ми можемо використовувати в е-освіті залежності типу Парето для прогнозу попиту на навчання, який дозволяє визначити резерв підвищення ціни за навчання. Розподіл балів по кількості студентів, що одержали цей бал, можна представляти графічно як криві, що огинають діаграму Парето, оскільки зі збільшенням бала зменшується кількість студентів, що одержали його. Онтологічний підхід з використанням гіллястості онтографу комп'ютерних онтологій дає можливість отримати розподіл балів по гілках електронних курсів. Усереднена по гілках залежність типу Парето для розподілу балів дає можливість для знаходження фрагменту ЕК з найбільшим відхиленням розподілу балів від середнього, тобто що має потребу в модифікації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Замков О. О., Толстопятенко А. В., Черемных Ю. Н. Математические методы в экономике: Учебник. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, Издательство "ДИС", 1997. – 368 с.
2. Полумієнко С. К. Деякі аспекти моделювання сталого соціального розвитку / С. К. Полумієнко // Математичне моделювання в економіці. – 2014. – Вип. 1. – С. 63–71. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mmve_2014_1_9.
3. Барвінський А.Ф. та ін. Математичне програмування: Навчальний посібник – Львів: Національний університет "Львівська політехніка", "Інтелект-Захід", 2004. – 448 с.
4. Беліков М.І., Гуржій А.М., Кігель В.Р., Самсонов В.В. Розв'язування оптимізаційних задач за допомогою методів лінійного програмування: Навчальний посібник. – К.: ІСДО, 1994. – 132 с.
5. Ващук Ф.Г., Лавер О.Г., Шумило Н.Я. Математичне програмування та елементи варіаційного числення. Навчальний посібник. – К.: Знання, 2008. – 368 с. – (Вища освіта ХХІ століття).
6. Кузнецова И. А. Дистанционное обучение как система массового обслуживания [Электронный ресурс] / И. А. Кузнецова // Интернет-журнал Науковедение Выпуск № 2 (7). – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://naukovedenie.ru/index.php?id=163>.
7. Лебедева И. П. Математическое моделирование в педагогическом исследовании / И. П. Лебедева. – Пермь: Перм. гос.пед. ун-т, 2003. – 122 с.
8. Титенко С. В. Практична реалізація технології автоматизації тестування на основі понятійно-тезисної моделі. / [под общ. ред. В. А. Гребенюка, Д. Р. Киншука, В. В. Семенца] // Образование и виртуальность – 2006. Сборник научных трудов 10-й Международной конференции Украинской ассоциации дистанционного образования / С. В. Титенко, О. О. Гагарін. – Харьков-Ялта: УАДО, 2006. – С. 401–412.
9. Разработка концепции электронных учебников по образовательным областям. Т. 1. Отчет о НИР (заключит.) [Электронный ресурс] / [А. В. Осин, А. В. Гиглавый,, М. Н. Морозов, та ін.] // РМЦ. – 2002. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.eir.ru>.
10. Ланге О., Банасинський А. Теорія статистики, М: Статистика, 1979, 399 с.
11. Pareto V. Manuel d'economie politique, Paris, 1927.
12. Approximating the Pareto front of multi-criteria optimization problems / J. Legriel, C. Guernic, S. Cotton, O. Maler. // TACAS'10 Proceedings of the 16th international conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems. – 2010. – С. 69–83.
13. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.:ИП Экоперспектива, 1998. – 448 с.
14. Merton, Robert C. Theory of Rational Option Pricing // Bell Journal of Economics and Management Science, 1973, N4.
15. Некоторые аспекты моделирования контроля знаний в дистанционном обучении / [Ю.Л. Тихонов, О.В. Хмель]. – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля Луганськ, 2007. – №4(110) частина 2 – С. 197–201.
16. Особенности экономических моделей в обучении / [Ю.Л. Тихонов, Е.Ю. Ксенофонтова]. – Вісник Луганського національного педагогічного університету ім.Тараса Шевченка, 2006. – №2(97). – С. 96–102.
17. Управление качеством: учеб. Пособие / Н.В. Кузнецова.– М. : Флинта : МПСИ, 2009. – 360 с.

Стаття надійшла до редакції 30.11.2017.

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

UDC 004.942 ; 627.512 ; 556.013

D.V. STEFANYSHYN

ON THE USE OF THE TYPE I GUMBEL DISTRIBUTION TO ASSESS RISKS GIVEN FLOODS

Abstract. *In this article, there is considered the possibility of using the type I Gumbel distribution as one among alternative forecasting models in assessing flood risks at rivers, which is carried out based on forecasting of maximum hydrological characteristics according to hydrological observations. Examples are given and analyzed are the results of forecasting of the maximum water discharges of low exceedance probabilities, which were obtained with the use of the type I Gumbel distribution and other probability distributions for the Dnieper (the Vyshgorod water level gauge) and the Stryi River (the Verkhnye Syn'ovydyne water level gauge). In addition to the analytical distributions for the Dnieper River, a generalized probability distribution function obtained by modeling within the fuzzy set theory was also used in the comparative analysis. The possibility of extending the scope of the practical application of the type I Gumbel distribution in forecasting hydrological maxima by logarithmic transformation is shown.*

Keywords: *alternative, asymmetry, hydrological maxima, flood, forecasting, probability distribution, risk.*

Introduction

Floods are among the most dangerous natural disasters causing human fatalities and different losses [1]. According to estimates [2], floods were responsible for about 6,8 million deaths in the 20th century. Annual economic worldwide losses from floods reached hundreds of millions of dollars [3]. And risk of deaths and catastrophic losses due to floods has been increasing by years in particular through the accelerated urbanization of coastal areas, river basins and lakeshores despite the fear of people before the floods [4].

The reasons, phenomena, factors and events that precipitate floods are diverse, multifaceted, and interrelated [2, 5]. These are weather factors such as storms, heavy or sustained rainfalls, rapid snow melts, heavy rains combining with rapid snow melts etc. Typical human factors include breakthroughs of dams, spreading water impervious surfaces in human settlements, defects or failures of drainage systems etc. Deforestation [6], physical land features including phase state of soils

of the underlying surface, the present or absence of vegetation, other river basin drainage characteristics also influence flood outcomes. It should also mention the climate changes and the overall environment degradation [2, 5–7].

In Ukraine, flood challenges are also relevant [8]. Especially often floods occur on the Carpathian rivers in the western regions of our country [8–10]. Floods also threaten to the population living in the Dnipro basin. First of all, floods pose a significant threat to the population living in the Pripjat river basin [11]. There is also a permanent danger of artificial floods due to accidents on numerous dams [12]. Therefore, forecasting risks of floods in our country is one of important problems, and its relevance even will be increasing over time.

As it is known, the basic model used to forecast hydrological characteristics (water levels, discharges, volumes of water, etc.) according to hydrological observations is the probability distribution function [5, 13–15]. It can be used to determine flood parameters and its occurrence probability, to estimate the probable losses (risks of losses) because of floods, to solve water management problems, to assess the design values of water levels and discharges having extreme exceedance probability in designing of hydraulic structures [5, 13–17].

1. The use of probability distributions in hydrology

The use of probability distributions in hydrology is based on the assumption that hydrological observations data form representative sequences of independent and identically distributed random variables [5, 13–15]. For most rivers that have not undergone significant anthropogenic loads, and in the presence of data of continuous hydrological observations within time intervals of at least 30–40 years, this assumption can be quite admitted [5, 13].

Usually, the hydrological maxima have a positive asymmetry. Sometimes this asymmetry is quite significant. As well as, they exceed zero, or some other lower limit, but, in theory, they are not limited to the upper limit.

There are a lot of analytical probability distributions that meet these conditions and in case of presence of appropriate data might be used to forecast the maximum hydrological characteristics having low exceedance probability. These are, for example, such distributions as follows: the log-normal (two- and three-parameter) distributions, the gamma family and related distributions (exponential, two-parameter distributions, the three-parameter Kritsky-Menkel distribution and the Pearson type III distribution, etc.) and the extreme value distributions, which were developed within the extreme value theory [5, 13–15].

By this theory [5, 13–15] the generalized extreme value distribution is the only possible limit distribution of properly normalized maxima of a sequence of an independent and identically distributed random variable [18, 19].

In Ukraine, when hydrological calculations being performed according to observation data, it is accepted to use the three-parameter Krytsky-Menkel gamma distribution [13]. This model involves into its composition the parameters associated by means of transcendent equations with the coefficient of variation C_V and the coefficient of asymmetry C_S , and admits various relationship between them. For the different curves, the integration with the presentation of results in a tabular form was performed. It greatly simplifies hydrological calculations.

Among the extreme value distributions the type I Gumbel distribution is the most popular one in the modern hydrology practice [5, 14, 15, 19, 20]. Its popularity in hydrological calculations is due to the fact that the Gumbel's distribution is one of the simplest and most convenient analytical models that might be used to forecast extreme values. But not only because of this has the distribution deserved attention. It should also be noted that the hydraulic maxima prediction reliability provided by the type I Gumbel distribution is sufficiently high.

Besides, this is a two-parameter probability distribution, with constant asymmetry. And, as it is well-known, the estimation errors of the coefficient of variation and the coefficient of asymmetry (See example in Table 1), which are used, for example, in the three-parameter gamma distributions, can be quite significant, greater than the errors in determining the mean value of a sample of observations and its standard deviation (they are used in the Gumbel distribution). So, the “more precise” three-parameter probability distributions may even enlarge the uncertainty of forecasting to a certain extent.

The last remark also applies to some more “advanced” four-parameter and five-parameter probability distribution models, where, in addition to the asymmetry, the excess is used, etc. [21].

Table 1 – The accuracy of calculations of the statistical characteristics for water discharges maxima (the Dnieper River, the Vyshgorod water level gauge)

Parameter	Estimation	Standard error	Relative error, %
Mean value \bar{x} , m ³ /s	4692	180	3,8
Standard deviation σ , m ³ /s	2632	128	4,9
Coefficient of variation C_V	0,56	0,06	11,0
Coefficient of asymmetry C_S	1,26	0,17	13,2

Finally, it should be noted that there is no theoretical or another strict justification for choosing an appropriate probability distribution function of a random variable when forecasting extreme characteristics [5]. In principle, therefore, any probability distribution might be considered as a working hypothesis, if the distribution meets the appropriate statistical criteria and if other considerations regarding the adequacy of simulation are taken into account [22-24].

2. The type I Gumbel distribution

The type I Gumbel distribution [25] is a particular case of the generalized extreme value distribution (the last also is known as the Fisher-Tippett or the Fisher-Tippett-Gnedenko distribution). It is also known as the log-Weibull distribution and the double exponential distribution. As well as it is related to the Gompertz distribution; when its density is first reflected about the origin and then restricted to the positive half line, a Gompertz function is obtained [18, 19].

The type I Gumbel distribution has a probability distribution density, which might be described by the function [5, 14, 15, 19, 20, 25]:

$$f(x) = \alpha \exp\{-\alpha(x-u) - e^{-\alpha(x-u)}\}, \quad -\infty \leq x \leq \infty, \quad (1)$$

where, the annual exceedance probability, %, for a random X :

$$P(X \geq x) = 100 \cdot [1 - \exp\{-\exp[-\alpha(x-u)]\}], \quad (2)$$

α and u are the distribution parameters, which are determined by

$$\bar{x} = u + \frac{0,5772}{\alpha}, \quad \sigma^2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2}, \quad (3)$$

\bar{x} is the mean value and σ is the standard deviation of the given series of observations data.

3. Examples of hydrological maxima forecasting

3.1. Forecasting of water discharges maxima, the Dnieper River, the Vyshgorod water level gauge

Considered a number of observations from 1787 to 1999 (Fig. 1) with the following statistical parameters: the mean value $\bar{x} = 4692 \text{ m}^3/\text{s}$; the standard deviation $\sigma = 2632 \text{ m}^3/\text{s}$; the coefficient of variation $C_v = 0,56$; the coefficient of asymmetry $C_s = 1,26$.

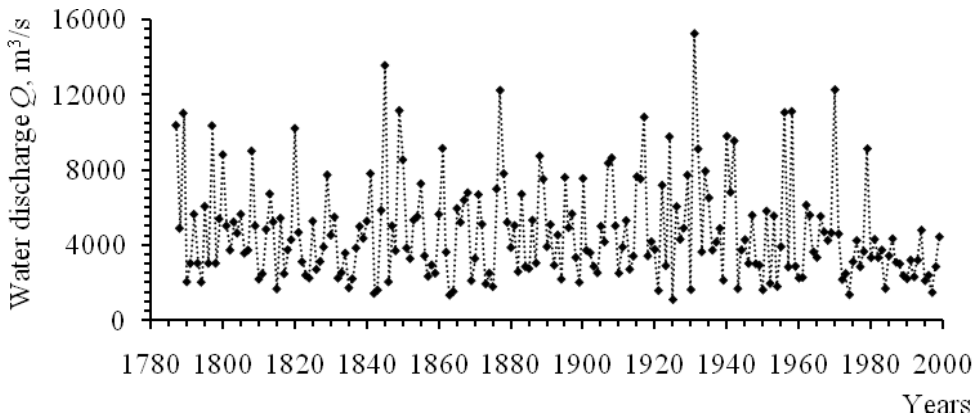


Fig. 1 – A time series of water discharges maxima, the Dnieper River, the Vyshgorod water level gauge

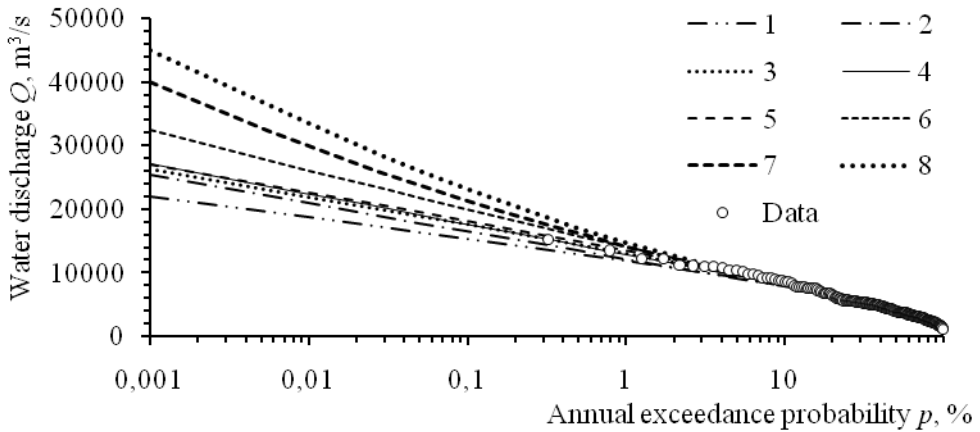


Fig. 2 – The probability distributions of water discharges maxima, the Dnieper River, the Vyshgorod water level gauge

Eight alternative probability distributions were used to forecast (See above Fig. 2), including four variants of the three-parameter gamma distribution according to the Krytsky-Menkel model: the model 1 corresponds $C_V = 0,5$ and $C_S = 2C_V$; the model 2 answers $C_V = 0,5$ and $C_S = 2,5C_V$; 5 satisfies $C_V = 0,6$ and $C_S = 2C_V$; 6 stands for $C_V = 0,6$ and $C_S = 2,5C_V$. The others distributions are as follows: the model 3 answers the Pearson III type distribution (arithmetical); 4 stands for the type I Gumbel distribution; 7 satisfies the two-parameter lognormal distribution; 8 corresponds the log-Pearson III type distribution.

After checking the statistical hypotheses by the Pearson criterion χ^2 for the significance level of 0,1%, all these probability distributions were found to be considered as the hypotheses that agreed with empirical data (Table 2). The validities $v(\chi^2)$ of the models were determined by using the Pearson criterion too.

It might be noted that the type I Gumbel distribution curve, despite the small value of its statistical validity, gave the acceptable approximation to points corresponding to observed data having low exceedance probability (less than 3%) (See also Fig. 3). The curve passes near four of them, in particular through three such points, which correspond to the observed water discharges with the least empirical exceedance probabilities.

It should also be noted that the type I Gumbel distribution (the model 4), its validity by Pearson criteria is 0,0425, in the interval of small exceedance probabilities, gave the result that is quite similar to results of “more” valid distributions (See Fig. 3); among them such distributions are as the Pearson III type distribution (arithmetical) (the model 3) with $v(\chi_i^2) = 0,1491$ and the Krytsky-Menkel model 5 for $C_V = 0,6$ and $C_S = 2C_V$ with $v(\chi_i^2) = 0,1256$.

Table 2 – Results of checking the statistical hypotheses by the Pearson criterion (the significance level of 0,1%)

Hypothesis	Probability distribution	Pearson criterion χ^2	Validity by Pearson criterion $v(\chi^2)$
1	The Krytsky-Menkel model ($C_V = 0,5; C_S = 2C_V$)	23,141	0,0418
2	The Krytsky-Menkel model ($C_V = 0,5; C_S = 2,5C_V$)	20,499	0,0865
3	The Pearson III type distribution (arithmetical)	18,425	0,1491
4	The type I Gumbel distribution	23,074	0,0425
5	The Krytsky-Menkel model ($C_V = 0,6; C_S = 2C_V$)	19,088	0,1256
6	The Krytsky-Menkel model ($C_V = 0,6; C_S = 2,5C_V$)	15,353	0,2874
7	The two-parameter lognormal distribution	15,066	0,3752
8	The Pearson III type distribution (logarithmic)	12,949	0,4530

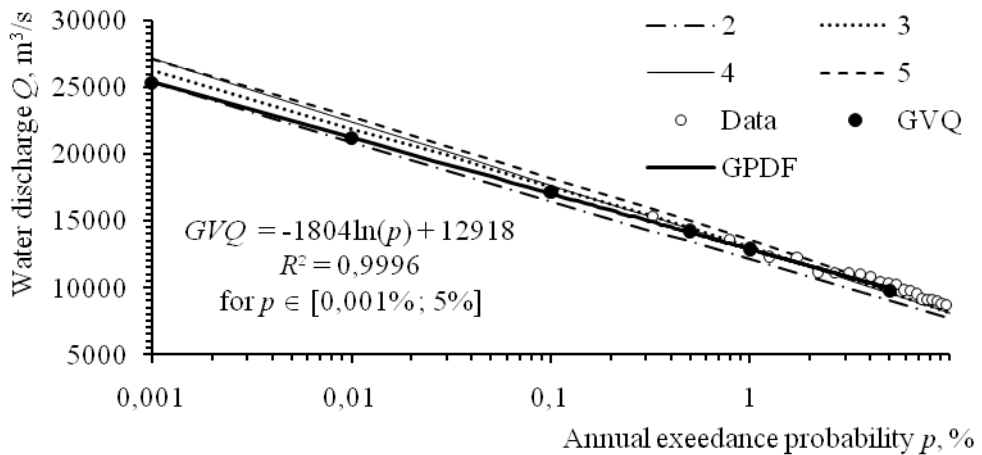


Fig. 3 – Comparison of the type I Gumbel distribution with the nearest neighbour distributions and with a generalized probability distribution function (GPDF) in the interval of small exceedance probabilities

A comparison of the type I Gumbel distribution with a generalized probability distribution function (GPDF) in the interval of small exceedance probabilities was also performed. Six generalized values (GVQ) of water discharges for annual exceedance probabilities of 5%, 1%, 0,5%, 0,1%, 0,01% and 0,001% were obtained (Fig. 3). These GVQ include “contributions” of all the chosen probability

distributions (See Fig. 2). They were estimated by using methods of the fuzzy set theory according to the proposition given in [24].

The Gumbel's probability distribution showed a good coincidence with the GPDF for more likely floods having annual exceedance probabilities of 0,5% and more. In addition, the type I Gumbel distribution gives a certain margin to mitigate the risk connected with less likely floods.

3.2. Forecasting of water discharges maxima, the Stryi River, the Verkhnye Syn'ovydney water level gauge

The Stryi River is one among the largest left bank tributaries of the Dniester River. The river makes a significant contribution to floods taking place on the Dniester region. The presented Stryi River example is also interesting because the forecast of water discharges maxima is based on a relatively short series of observations.

There was considered a number of observations from 1951 to 1998 (See Fig. 4) with the following statistical parameters: the mean value $\bar{x} = 755,4 \text{ m}^3/\text{s}$; the standard deviation $\sigma = 466,5 \text{ m}^3/\text{s}$; the coefficient of variation $C_V = 0,6$; the coefficient of asymmetry $C_S = 1,8$ ($C_S = 3 C_V$).

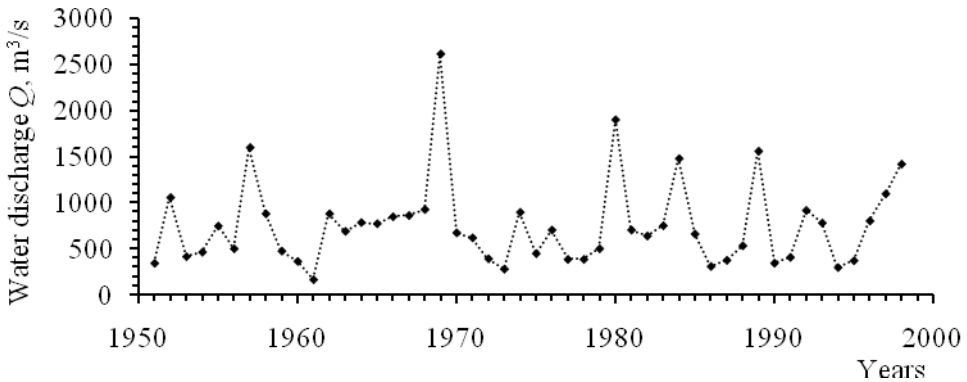


Fig. 4 – A time series of water discharges maxima, the Stryi River, the Verkhnye Syn'ovydney water level gauge

In the selected series of observations, it might be noted the high “emission” corresponding to the water discharge of $2610 \text{ m}^3/\text{s}$, whose empiric exceedance probability is about 2%, because of what the choice of an adequate probability distribution has essentially complicated.

Initially, the type I Gumbel distribution was considered (Fig. 5, the model 1). As well as different variants of the three-parameter gamma distribution of the Krytsky-Menkel model were used (See, for example, the model 2 with $C_S = 3 C_V$ and the model 3 with $C_S = 5 C_V$). None of the considered variants including the Krytsky-Menkel models gave an adequate approximation to the observed data. The Pearson III type distribution (arithmetical) with $C_S = 3 C_V$ (the model 4) also turned out to be not a sufficiently adequate model to describe the observed data.

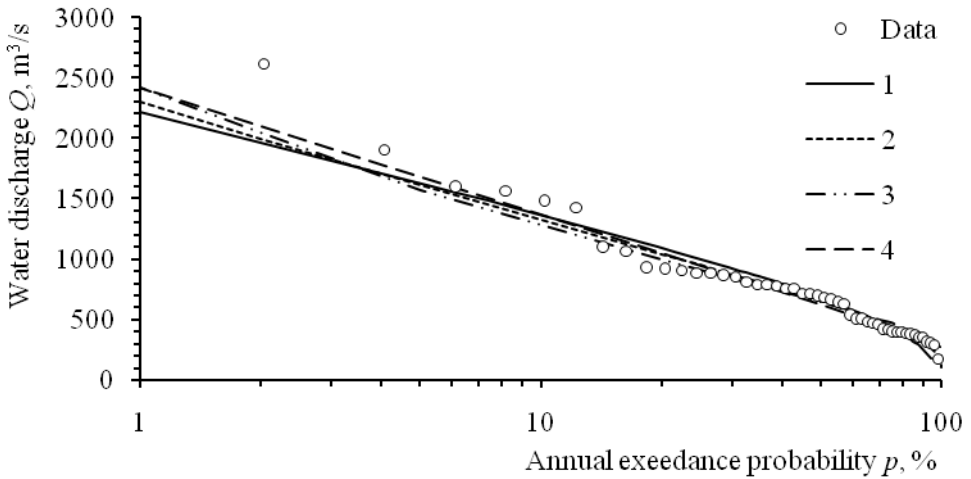


Fig. 5 – The probability distributions of water discharges maxima, the Stryi River, the Verkhnye Syn’ovydne water level gauge

It is known that the logarithmic transformation allows expanding the scope of practical application of probability distributions. This is a fairly simple and sufficiently effective technique to overcome the excessive asymmetry of observed data [26], which is carried out by replacing a random variable x by a random variable $y = \lg x$ or by a variable $y = \ln x$.

Usually, the logarithmic transformation is present in the two- and three-parameter log-normal distributions and in the log-Pearson III type distribution (See Fig. 2, the model 8). This technique may also be used regarding the type I Gumbel distribution. The results are shown in Fig. 6.

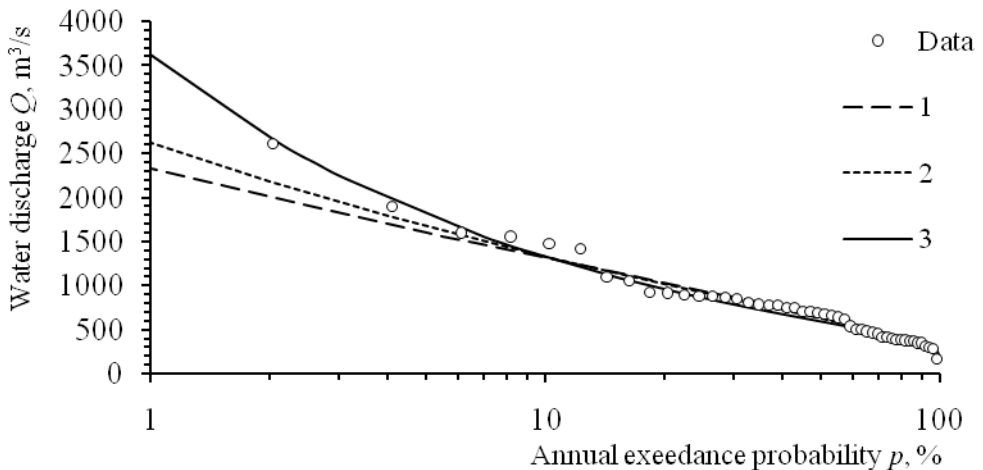


Fig. 6 – The logarithmic distributions of probability of water discharges maxima, the Stryi River, the Verkhnye Syn’ovydne water level gauge

In Fig. 6, it is shown the following probability distributions: the model 1, the two-parameter log-normal distribution; the model 2, the log-Pearson III type

distribution; the model 3, the type I log-Gumbel distribution (the type I Gumbel distribution built for logarithms). It may be seen, that the logarithmic transformation for the Gumbel's distribution allowed taking into account the hidden asymmetry of data, the asymmetry, which was magnifying the uncertainty of forecasting. As a result, the less risky forecast was obtained.

Conclusions

It was considered the possibility of using the type I Gumbel distribution as one among alternative forecasting models in assessing flood risks at rivers, which is carried out based on forecasting of maximum hydrological characteristics according to hydrological observations.

It was shown, that the type I Gumbel distribution, both in arithmetic and logarithmic form, can be successfully applied in predicting the hydrological maxima having low exceedance probabilities. This distribution can be adequate forecasting model, which allows taking into account the individual particularities the time series of observed hydrological maxima.

REFERENCES

1. Abbott P. L. Natural Disasters. Wm. C. Brown Publishing Co. 1996. 438 p.
2. Doocy Sh., Daniels A., Murray S., Kirsch Th. D. The Human Impact of Floods: a Historical Review of Events 1980-2009 and Systematic Literature Review. URL: <http://currents.plos.org/disasters/article/the-human-impact-of-floods-a-historical-review-of-events-1980-2009-and-systematic-literature-review/>
3. Dobrovičová S., Dobrovič R., Dobrovič J. The Economic impact of floods and their importance in different Regions of the World with Emphasis on Europe. Business Economics and Management 2015 Conference, BEM2015. Procedia Economics and Finance 34. 2015. P.P. 649-655.
4. Rufat S., Tate E., Burton Ch. G., Maroof A. Say. Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. International Journal of Disaster Risk Reduction, 14, 2015. P.P. 470-486
5. Introduction to hydrology. First ed. by W. Viessman, Jr., T. E. Harbaugh, and J. W. Knapp. Intext educational publishers. New York. London. 1975. 704 p.
6. Raven P. H., Berg L. R. Environment. 5th ed, John Wiley & Sons. 2006. 406 p.
7. Briggs D., Smithson P., Addison K., Atkinson K. Fundamentals of the Physical Environment. Second Edition. London & New York, 1997. 557 p.
8. Сусідко М. М., Лук'янець О. І. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки. Наук. праці УкрНДГМІ. Вип. 253. 2004. С. 196-204.
9. Кирилюк М. І. Режим формування історичних паводків в Українських Карпатах. Екологічні аспекти руслоформування малих річок (аналіз проблеми). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. зб. / Відп. ред. В. К. Хільчевський. Київ : Ніка-Центр, 2001. Т. 2. С. 146-156.
10. Бойко В. М., Петренко Л. В. Стихійні гідрологічні явища на річках України в останні 10-15 років та проблеми їхнього оперативного попередження. Наук. праці УкрНДГМІ. 2006. Вип. 255. С. 272-278.
11. Сусідко М. М. Надзвичайно високі повені в басейні Прип'яті. Наукові праці УНДГМІ. 2006. Вип. 255. С. 279-282.
12. Стефанишин Д. В. Прогнозування аварій на греблях в задачах оцінки й забезпечення їх надійності та безпеки. Гідроенергетика України. № 3-4. 2011. С. 52-60.

13. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. Москва : Наука, 1981. 255 с.
14. Extreme Hydrological Events: New Concepts for Security (Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences). Paperback: Editors: O. F. Vasiliev, P. H. A. J. M. van Gelder, E. J. Plate, M. V. Bolgov. Springer; 1 edition. 2007. 480 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4020-5741-0>.
15. Koutsoyiannis D. Probability and statistics for geophysical processes. National Tech. University of Athens. 2008. URL: <https://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/1322/>.
16. Стефанишина-Гаврилюк Ю. Д., Стефанишин Д. В., Трофимчук О. М. Індуктивне моделювання ризиків збитків від руйнівних повеней в басейні р. Тиса за емпіричними даними з використанням моделей регресійного типу. Математичне моделювання в економіці. 2014. №1. С. 72-79.
17. Стефанишин Д. В. Обґрунтування економічно оптимального значення розрахункової витрати води малої ймовірності перевищення на водопропускних спорудах з врахуванням ризику. Математичне моделювання в економіці. 2015. № 2. С. 104-111.
18. Nasri-Roudsari D., Extreme value theory of generalized order statistics. Journal of Statistical Planning and Inference. Vol 55, 1996. P.P. 281-297.
19. Rust H. W., Kallache M., Schellnhuber H.-Jo., Kropp J. P. Confidence intervals for flood return level estimates assuming long-range dependence. Assuming Long-Range Dependence. In: Kropp J., Schellnhuber H. J. (eds). In Extremis. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. P.P. 213-241.
20. Okonofua S., Ogbefun P. Flood Frequency Analysis of Osse River Using Gumbel's Distribution. Civil and Environmental Research. Vol. 3, No. 10. 2013. P.P. 55-59.
21. Картвелишвили Н. А. Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулирование речного стока. Ленинград : Гидрометеоздат, 1985. 191 с.
22. Стефанишин Д. В., Грицюк П. М., Оленіч В. В. Вибір функцій розподілу кліматичних та гідрологічних параметрів з урахуванням ризику реалізації їх екстремальних значень. Штучний інтелект. 2' 2004. ППШ «Наука і освіта», 2004. С. 393-397.
23. Stefanyshyn D. V. Application of risk analysis to support safety of dams and flooded territories against floods. Proc. of Int. Scientific School "Modelling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems". June 24-28, 2008. Saint-Petersburg, Russia. P.P. 371-376.
24. Стефанишина-Гаврилюк Ю. Д., Стефанишин Д. В. Використання нечіткої міри для подолання невизначеності довгострокових прогнозів на основі екстраполяцій. Системні дослідження та інформаційні технології. 2013. № 4. С. 99-110.
25. Gumbel E. J. Les valeurs extrêmes des distributions statistiques. Annales de l'institut Henri Poincaré. Vol. 5. No. 2. 1935. P.P. 115-158.
26. Kuhn M., Johnson K. Applied Predictive Modeling. Springer Science+Business Media. New York, 2013. 600 p.

Been received for revision 15.02.2018.

УДК 004.047

О.О. КРЯЖИЧ, О.В. КОВАЛЕНКО

ДЕЯКІ МОДЕЛІ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ У СФЕРІ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОГЕННОЮ БЕЗПЕКОЮ

***Анотація.** У статті визначені особливості обробки інформації для потреб управління техногенною безпекою. Представлені оціночні значення на інтервалі для визначення ефективності трансформації інформації при її обробці. Наведена модель побудови системи управління для будь-якого класу складних об'єктів з врахуванням критеріїв впливу та погрішності при трансформації інформації управління.*

***Ключові слова:** процес, дані, ситуація, обмеження, час.*

Вступ

До інформаційної системи управління традиційно відносять системи збору, обробки і представлення інформації для прийняття рішень [1]. Проте таке визначення організації роботи з інформацією, характерне для більшості праць з інформаційного менеджменту та теорії обробки даних [2–5], як правило, орієнтується на використання статичної інформації [6]. Але при виникненні кризової ситуації, статична інформація вже є неповною, суперечною і несвоєчасною.

Це впливає з самого поняття кризової ситуації, як нестабільної або непередбачуваної. Наприклад, у разі виникнення аварії на потенційно небезпечному або небезпечному підприємстві (техногенна небезпека), темпи змін зовнішнього середовища збільшуються, а ситуації, що виникають, є новими, мінливими і обмеженими у часі до настання нової зміни. У цих умовах прийняття рішень на основі вибору альтернатив є неможливим. Тоді більш актуальним є моделювання ситуації.

Спробу описати організаційну систему з логічними переходами від статичного до динамічного стану зробив Стаффорд Бір [7], який представив модель життєздатної системи, подібної до живого організму, з метою адаптування до умов мінливого середовища будь-якої організаційної системи управління. Ст. Бір визначив підсистеми отримання та передачі інформації, проте ані Ст. Бір, ані дослідники і розробники інформаційних систем управління наступних років не приділяли необхідної уваги процесам обробки інформації з точки зору зміни мети функціонування системи в умовах зміни ситуації.

Динамічне зростання техногенної небезпеки, пов'язане як з антропогенним, так і з природним впливом на потенційно небезпечні та небезпечні об'єкти, вимагає перегляду підходів до інформаційного менеджменту та коригування алгоритмів дій від вирішення задач локалізації аварії та ліквідації наслідків до алгоритмів попередження аварій. Зараз в практиці проектування систем управління техногенною безпекою виходять з того, що особи, які приймають рішення (ОПР) в разі виникнення аварійної ситуації, повинні виконати деякі роботи з певними функціями без власного бачення ситуації. При цьому системи управління такого плану призначені для

ОПР вищої ланки. Рішення керівників середньої ланки і дії окремих виконавців мають різний ступінь адекватності до ситуації та різну персональну відповідальність за наслідки їх рішень. Часто вища ланка управління ігнорує інформацію з нижніх ланок управління [8]. Існують приклади, коли інформація з нижніх рівнів управління блокується при подачі на верхні рівні управління з метою уникнення персональної відповідальності. Тож у разі виникнення техногенної безпеки різні ланки управління сприймають ситуацію по-різному, що у підсумку призводить до погіршення ситуації і можливості ліквідувати лише наслідки, а не саму причину кризи.

Метою роботи є представлення деяких моделей обробки інформації у сфері управління техногенною безпекою складних систем.

Наведена мета буде розкрита за допомогою наступних задач:

- визначення базових особливостей обробки інформації для потреб управління техногенною безпекою;
- аналіз процесу трансформації інформації при її обробці в системах управління;
- представлення ряду моделей обробки інформації, які дозволять забезпечити повноту знань про динамічну систему.

1. Деякі особливості обробки інформації для потреб управління техногенною безпекою

Найскладнішим питанням для замовника є виділення базових аспектів, для яких і потрібна система обробки інформації – тобто, представлення переліку типових завдань щодо аналізу відповідності існуючої технології управління реальним потребам управління.

Відсутність чіткої постановки задачі на рівні ОПР призводить до ситуації, коли при розробці системи саме розробник вимушений самостійно досліджувати предметну галузь. Неповнота інформації про комунікаційні потоки на об'єкті управління, недосконала організаційна структура у сукупності з відсутністю базових моделей управління примушує розробника застосовувати методи нечіткої логіки в умовах невизначеності знань про об'єкт автоматизації. Це у підсумку призводить до унікальності кожної конкретної інформаційної системи, важкості адаптації до існуючих баз даних (або взагалі виникає вимога створення власних баз даних), утрудненості при передачі обробленої інформації стороннім користувачам. Крім того, подібні інформаційні системи пропонують переважно методи роботи з нечіткою інформацією в умовах невизначеності. Академік В.М. Глушков зазначав, що управління, яке здійснюється переважно на засадах невизначеності та з опорою на нечітку інформацію, є шляхом до деградації об'єкта управління [9]. Зростання ефективності управління можливе лише на шляху створення системи управління реального часу з повним спектром параметрів моніторингу об'єкта, тобто на шляху наближення до об'єктивного управління.

Крім того, в практиці управління рішення ОПР часто може базуватися на неактуальній інформації, яка в значній мірі не відповідає реальному стану внутрішнього та зовнішнього оточення об'єкта управління на момент прийняття рішення. Прикладів у сфері забезпечення техногенної безпеки багато: причина пожежі, витік деякого об'єму небезпечної речовини,

забруднення деякої площі території. В кожному з наведених випадків рішення ОПР вже базуватиметься на неактуальній інформації – на наявних до виникнення аварійної ситуації даних про стан об'єкта. Від цього керуючі стимули системи управління не адекватні потребам об'єкта управління. Це обумовлено моделлю моніторингу стану об'єкта, яка повторює ієрархію підпорядкованості елементів об'єкта за повноваженнями. Традиційно модель моніторингу будується на принципах повторення структурної ієрархії організації, де інформація про стан подається до органу управління від об'єктів управління через процедуру агрегації даних моніторингу. Такі моделі закладені в планах ліквідації аварійної ситуації на об'єктах. А в цілому все зазначене формує складну ієрархічну систему забезпечення безпеки на техногенно навантажених територіях. Відповідно, будуються рівні ієрархії збору, обробки і представлення інформації для прийняття рішень:

- від 1 до 3 на об'єктовому рівні;
- від 1 до 5 на локальному рівні міста, району, області чи регіону;
- до 3 на глобальному рівні (промислова галузь, міністерства, уряд).

Інформація на цих рівнях агрегується за станом на тиждень, місяць, квартал, рік за різними ознаками. Тобто, будь-яка модель моніторингу в зазначеній ситуації працюватиме лише за інформацією минулих періодів. На цій застарілій інформації ОПР мають приймати оперативні та стратегічні рішення.

Модель стратегічного планування із забезпечення техногенної безпеки потребує визначення уніфікованих процедур для її реалізації в інформаційних технологіях. Сучасні проекти систем збору, обробки і представлення інформації для прийняття рішень намагаються реалізувати процедури планування через конкретні форми існуючих варіантів плануючих документів. У разі зміни структури або змісту плануючого документу його програмна реалізація морально старіє і потребує значної переробки. За умов відсутності уніфікації процедур планування проблемними для автоматизації є функції органів планування. Органи управління в переважній більшості уповноважені визначати політику щодо удосконалення системи управління, і саме ці органи отримують найбільший рівень оснащення засобами автоматизації управлінської діяльності. Але доданок ефективності від застосування засобів автоматизації майже одразу стає від'ємним через зростання потоку документів, який теоретично повинен зменшуватися, а замість того збільшується у декілька разів [58]. У цій ситуації органи управління починають структурні перебудови, що призводить до руйнування інформаційних систем в цілому або окремих програмних засобів реалізації функцій управління, які є жорстко прив'язаними до структури об'єкта та до форм документів і не мають уніфікації. Це робить систему статичною, нездатною швидко реагувати на зміни, що є неприйнятним при забезпеченні техногенної безпеки. Тому потрібні нові моделі управління, особливо – для прийняття рішень в дуже динамічних сферах, таких як техногенна безпека, охорона здоров'я, протидія тероризму та інші. Такі системи не повинні мати жорсткої прив'язки до структури об'єкта автоматизації та набору його функцій. Збір, обробка і представлення інформації в розрізі поставлених задач можуть бути представлені через уніфіковані процедури процесу управління на базі отримання життєздатної інформації. Але підтримання інформації в стані життєздатності неодмінно буде супроводжуватися

певними перетвореннями (трансформацією) інформації в процесі її обробки згідно з поставленими задачами вирішення поточної ситуації.

2. Трансформація інформації в процесі обробки

Технологію управління техногенною безпекою в умовах відсутності кризи можна визначити як комплекс організаційних заходів, операцій та прийомів з реалізації завдань об'єкта управління за призначенням. Тобто, це реалізація певного алгоритму із забезпечення виконання функцій об'єкта управління та дотримання параметрів, перевищення яких призводить до виникнення небезпеки.

Технологія кризового управління змінює пріоритети в задачах управління. У разі виникнення кризи починається ліквідація порушень встановлених критеріїв безпеки, перевищення яких і призвело до виникнення кризових явищ. В інформаційних технологіях кризове управління техногенною безпекою може бути представлено як алгоритм виконання завдань у разі алгоритмічного розгалуження при відповіді на основне питання з виконання завдання негативно, що відповідає у будь-якій мові програмування оператору «якщо ні, то...». При цьому частина інформації, що поступала на вході при виконанні алгоритму за реалізації технологій управління за умови відсутності кризи, формує множину даних для реалізації алгоритму кризового управління. Інша інформація до цієї множини повинна надійти за результатами вимірів зовнішніх чинників впливу, що призвели до виникнення кризової ситуації. Тобто, на математичному рівні при виконанні завдань обробки інформації для штатного або кризового управління маємо операції над множинами.

Аналізуючи різноманітні документи техногенно небезпечних об'єктів, можна остаточно зазначити, що кризове управління взагалі не відбивається в проектній документації на об'єкт, положеннях, організаційних директивах, статутах, посадових інструкціях. Замість кризового управління на практиці формуються багато різних заходів безпеки щодо використання ресурсів та технологій функціонування (заходи пожежної безпеки, безпеки праці, руху та ін.). Тобто самі процедури процесу управління більшості техногенно небезпечних об'єктів спрямовані тільки на штатне управління, що при формуванні підходу до управління техногенною безпекою, як складною системою, яка охоплює собою багато різних небезпечних об'єктів, призводить до виникнення умов невизначеності. І це стає основною характеристикою такої системи.

Будь-яка інформаційна технологія для управління в описаній ситуації не приведе до якісних показників покращання управління, якщо процедури управління як за умов кризи, так і за умов її відсутності не будуть представляти собою єдину життєздатну систему, націлену на постійний моніторинг інформації та її трансформацію відповідно до розвитку подій.

Незважаючи на те, що зазначене питання було віднесене академіком В.М. Глушковим до проблематичних ще у 60-х роках минулого століття [10], і на сьогодні за різними науковими напрямками не існує остаточного концептуального рішення поєднання системи управління об'єктом та інформаційної технології управління цим об'єктом для забезпечення

життєздатної інформації для підтримки прийняття рішень при будь-яких змінах ситуації від ситуації за відсутності кризи до кризової та навпаки.

Для створення будь-якої системи управління необхідно мати повне уявлення, повний набір знань про саму систему. За умов невизначеності для формування такого набору можна і слід використовувати будь-яку наявну формалізовану і неформалізовану інформацію, яка після її трансформації дасть мінімально повні знання про існуючий стан системи. Тому універсальну систему управління можна описати у такому вигляді:

$$Q = \Phi + N + \Delta\phi, \quad (1)$$

де:

Q – знання про складну систему;

Φ – формалізовані знання про складну систему (проектні вимоги, регламенти, правове та нормативні поля обмежень та ін.);

N – неформалізовані знання про складну систему (наявність передумов до визначення неадекватності цільової функції, структури, складу ресурсів, критеріїв функціонування вимогам навколишнього середовища, нагальна потреба в реформуванні або в модернізації);

$\Delta\phi$ – визначник рівня погрішності інформації при її обробці за умов невизначеності, який висвітлює ті дані, яких не вистачає для опису складної системи і серед яких можливо є вирішення системних проблем.

Для того, щоб система була описаною і, відповідно, скерованою, в умовах вимог реального часу, необхідно прагнути до:

$$\Phi + N \gg \Delta\phi. \quad (2)$$

Тобто, знання, що відсутні серед формалізованих та неформалізованих знань, не повинні перевищувати межі, яку визначає відповідність складної системи її цільовій функції. Сам показник $\Delta\phi$ корелює до міри невизначеності інформації в системі управління E [11] і визначає ступінь керованості складної системи або ступінь ефективності її системи управління. Тоді показник ефективності трансформації інформації управління складною системою Ω можна визначити як:

$$\Omega = 1 - \Delta\phi. \quad (3)$$

Якщо включити до складу $\Delta\phi$ не тільки ту частину знань про систему, яких у розробника моделі обробки інформації управління складною системою немає, а й ту частину знань із складу визначених ($\Phi + N$), які є, але вони неповні (E), суперечні (K), застарілі (T), тобто у сукупності складають загальну картину визначеності інформаційного простору для прийняття рішень, то на підставі (2) можна отримати:

$$\Phi + N \gg \Delta\phi + E + K + T. \quad (4)$$

А показник ефективності трансформації інформації управління складною системою буде складати:

$$\Omega = 1 - (\Delta\phi + E + K + T). \quad (5)$$

Для задачі визначення показника ефективності трансформації інформації, якого бажано досягти в результаті модернізації системи управління деяким об'єктом (потенційно небезпечним чи небезпечним підприємством, промисловим холдингом, певним регіоном – техногенно навантаженою територією), треба розрізнити комплекс критеріїв впливу: показників неповноти (E), суперечності (K) та несвоечасності (T) інформації управління, які є внутрішніми проблемами моделі управління об'єктом [12–13] і можуть бути усуненими завдяки її модернізації, та показник ($\Delta\phi$), природою якого є невизначеність інформації двох видів: невизначеність знань про стан зовнішнього середовища (в основному погодні умови та стан віддалених територій), невизначеність знань про внутрішнє середовище, тобто, сам об'єкт на момент виникнення деякої кризової ситуації.

Невизначеність ($\Delta\phi$) щодо обмежень в інформації про внутрішнє середовище неможливо вирішити з позиції розробника інформаційної системи. Документообіг, комунікації, особливості організаційної структури організації та багато іншого – все те, що може бути представлено розробнику лише з рівня підприємства, організації або органів управління складною системою (служби екологічного контролю, дозиметрії, охорони здоров'я, МНС і т. інш.).

Дещо мінімізувати таку невизначеність ($\Delta\phi$) можна за допомогою оціночних значень.

Для формування оціночних значень [14] показника ефективності трансформації інформації управління, з позиції здатності складної системи функціонувати за призначенням, можна за методом аналогії наукових досліджень використати інформаційну модель показника ефективності для складної системи (Ω) з трьома вимірами (Ω_1 ; Ω_2 ; Ω_3). Для показника ефективності трансформації інформації повинна бути проведена оцінка за наступними позиціями:

– чи можливо з наявною інформацією забезпечити ефективне вирішення завдань об'єкта управління за призначенням (Ω_1);

– чи можливо з наявною інформацією забезпечити ефективну взаємодію із зовнішнім середовищем (Ω_2);

– чи можливо з наявною інформацією ефективно утримувати об'єкт управління в стані стійкості (недопущення кризових явищ) (Ω_3).

Суть оціночних значень для реалізації оцінки ефективності трансформації інформації управління полягає у наступному:

– загальний показник ефективності трансформації інформації управління оцінюється експертами на шкалі оцінок $0 < \Omega < 1$;

– прямий процес управління від формулювання завдання до отримання результату визначає для ОПР трансформацію інформації від максимальної загальності (невизначеності) до повної її деталізації (визначеності). Тому шкала виміру ефективності адміністративної гілки циклу управління розподіляється за пропорцією стійкості на відрізки $0 - 0,38$; $0,38 - 1$;

– зворотний процес моніторингу та аналізу стану об'єкта управління визначає для персоналу трансформацію інформації від повної її деталізації (невизначеності) до отримання висновків з аналізу даних (визначеності).

Тому шкала виміру ефективності аналітичної гілки циклу управління розподіляється за аналогом стійкості на відрізки 0 - 0,62; 0,62 - 1;

– суміщення шкал оцінок для прямого й зворотного процесів у циклі управління дають розподіл загальної шкали на три відрізки 0 - 0,38; 0,38 - 0,62; 0,62 - 1, в межах яких мають розподілятися оцінки загального показника ефективності трансформації інформації управління:

(0 < Ω < 0,38) – діапазон оцінок, де ефективність трансформації інформації управління визначається незадовільною;

(0,38 < Ω < 0,62) – діапазон оцінок, де ефективність трансформації інформації управління визначається неефективною, що відповідає загрози кризи у стані;

(0,62 < Ω < 1) – діапазон оцінок, де ефективність трансформації інформації управління визначається ефективною, що відповідає протіканню всіх процесів без виникнення кризових ситуацій.

Слід зазначити, що міра невизначеності при трансформації інформації управління відносно взаємодії із середовищем залежить як від впливу середовища на об'єкт управління, так і від впливу об'єкта управління на середовище. В першому випадку міра невизначеності слабо корелює до можливостей організації у її підвищенні, а у другому випадку невизначеність інформації цілком залежить від моделі управління організацією. Тому для цієї складової визначається діапазон оцінок (0,38 < Ω < 0,62) на загальній шкалі оцінок.

Міра невизначеності показника трансформації інформації управління відносно стійкості внутрішнього стану об'єкта управління цілком залежить від обраної моделі управління організацією, тому для цієї складової визначається діапазон оцінок (0,62 < $\Omega_{\text{пао}}$ < 1) на загальній шкалі оцінок.

У цьому випадку ефективна система управління може бути створеною тоді і тільки тоді, коли значення відсутніх знань про систему $\Delta\phi$ (визначник рівня погрішності) не впливає на процеси, що протікають у системі, і ними можна знехотити з позиції досягнення цільової функції системи. Тоді від рівня погрішності інформації ($\Delta\phi$) при її обробці за умов невизначеності залежить не тільки можливість досягнення цільової функції об'єктом управління, а й ефективність трансформації інформації управління (Ω) в тому розумінні, що відхилення цільової функції від заданого напряму реалізації завдання є результатом невизначеності інформації при прийнятті рішень.

Результату дій (цілі) може бути досягнуто «за будь-яку ціну» ($\Delta\phi \rightarrow \max$), а може бути досягнуто «за мінімумом ціни» ($\Delta\phi \rightarrow 0$). Числове значення показника погрішності інформації ($\Delta\phi$) при її обробці за умов невизначеності дає міру відхилення від заданої цільової функції. Показник погрішності ($\Delta\phi$) є системною похибкою. Тоді загальною умовою побудови системи управління для будь-якого класу складних об'єктів з врахуванням критеріїв впливу та погрішності при трансформації інформації управління буде:

$$Q - (\Phi + N) = \Delta\phi + E + K + T, \text{ при } (\Delta\phi + E + K + T) \rightarrow 0. \quad (6)$$

З моделі (6) видно, що тільки повнота знань про систему, їх несуперечність і своєчасність визначають умови створення ефективного управління для складної системи.

Висновки

Наведена модель побудови системи управління для будь-якого класу складних об'єктів з врахуванням критеріїв впливу та погрішності при трансформації інформації управління є загальною, такою, що визначає діалектику розвитку системи управління в динаміці. Головна перевага такої моделі – вона дозволяє врахувати ті чинники, які неодмінно проявляють себе при трансформації інформації в процесі її обробки і вплинуть на кінцеве рішення ОПР. Неповна, суперечна і застаріла інформація з доданком погрішності, яка неодмінно виникає в процесі обробки інформації, в підсумку не дасть вирішити управлінську проблему, бо ефективність такого рішення буде з діапазоном оціночних значень на інтервалі $[0; 0,38]$. За умов невизначеності, які неодмінно присутні при прийнятті рішень щодо управління техногенною безпекою, представлений інтервал ефективності трансформації інформації управління визначається як незадовільний. А у разі, якщо рішення приймаються на основі статичної інформації, тобто, без $E + K + T$, знання про систему фактично є недійсними.

Подальші дослідження наведених положень доцільно провести в ракурсі повноти, суперечності та своєчасності збору, обробки і представлення інформації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васюхин О. В. Информационный менеджмент : Учебное пособие / О. В. Васюхин, А. В. Варзунов. – Санкт-Петербург, 2010. – 119 с.
2. Гринберг А.С., Король И.А. Информационный менеджмент: Учеб. пособие для вузов. – М.: Юнити-Дана, 2003. – 415 с.
3. Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посіб. / М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
4. Петренко Г.А., Теслер Г.С. Обработка данных в вычислительных системах и сетях. – К.: Техника, 1980. – 232 с., с ил. – Библиогр.: С. 228–231.
5. Волошин О.Ф. Моделі та методи прийняття рішень : навч. Посіб. / О.Ф. Волошин, С.О. Мащенко. – 2-ге вид., перероб. та допов. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. – 336 с.
6. Снитюк В.Е. Эволюционные технологии принятия решений в условиях неопределенности. – К.: «МП Леся», 2015. – 347 с.
7. Beer Stafford. Brain of the Firm: The Managerial Cybernetics of Organization. Edition, illustrated. Publisher, Allen Lane the Penguin Press, 1972. ISBN, 0713902191, 9780713902198. Length, 319 p.
8. Хенли Э.Д. Надежность технических систем и оценка риска / Э.Д. Хенли, Х. Кумamoto. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
9. Глушков В.М. Кибернетика. Вопросы теории и практики. – М.: Наука, 1986. – 488 с.
10. Глушков В.М. Введение в АСУ. Изд. 2-е, исправленное и дополненное. – К.: Техника, 1974. – 320 с.
11. Шеннон К. Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике / Клод Шеннон. – М. : Иностранная литература, 1963. – С. 223–332.
12. Кряжич О.О., Коваленко О.В. Забезпечення алгоритмічного та ресурсного балансу при вирішенні ситуаційних задач / Ольга Олександрівна Кряжич, Олександр Васильович Коваленко // Математичне моделювання в економіці. – 2015. – №1. – С. 22–31.

13. Кряжич О.А. Обеспечение жизнеспособности информации во времени при ее обработке в СППР / О.А. Кряжич // Математичні машини і системи. – 2015. – №2. – С. 170–176.
14. Довгий С. О., Бідюк П. І., Трофимчук О. М., Савенков О. І. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень. – К.: Азимут-Україна. – 2011. – 608 с.

Стаття надійшла до редакції 29.01.2018.

УДК 628.35

С.В. КОНОНЦЕВ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИДАЛЕННЯ СПЛУК НІТРОГЕНУ З ОБОРОТНОЇ ВОДИ ІНДУСТРІАЛЬНИХ РИБНИЦЬКИХ ГОСПОДАРСТВ

***Анотація.** Обґрунтовано ефективність використання ряскових для очищення оборотної води в установках з замкнутим водопостачанням (УЗВ) від сполук Нітрогену. Визначено основні фактори, що впливають на інтенсивність процесів асиміляції рослинами біогенних елементів. Представлено математичний опис динаміки амоній-йону в умовах замкнутого контуру УЗВ та залежності темпів росту ряскових від абіотичних факторів у фітореакторі для очищення оборотної води. Визначено раціональні шляхи регулювання очисної потужності фітореактора, проаналізовано можливі напрямки інтенсифікації процесів асиміляції сполук Нітрогену з оборотної води УЗВ.*

***Ключові слова:** очищення води, видалення сполук Нітрогену, УЗВ*

Вступ

Вирощування рибницької продукції в установках з замкнутим водопостачанням (УЗВ) забезпечує найвищу продуктивність з одиниці виробничих площ та характеризується мінімальним впливом на навколишнє середовище. Інтенсивні методи аквакультури з оборотним водопостачанням є чи не єдиним рішенням проблеми задоволення зростаючої потреби людства у продукції рибництва в умовах обмеженого потенціалу природних біоресурсів. Повторне використання води в УЗВ можливе лише за умови відновлення її якості після забруднення у рибницьких басейнах, тому належне очищення оборотної води та якість комбікормів відіграють виключно важливу роль у ефективності вирощування риб у системах з рециркуляцією.

Оскільки витрати на очищення оборотної води безпосередньо відображаються на собівартості вирощеної в УЗВ продукції, потреба у використанні надійних та енергоощадливих технологій водоочищення в даній галузі рибництва є актуальною. Запропонована нами технологія багатостадійного біологічного очищення оборотної води УЗВ дозволяє з високою ефективністю видаляти розчинені сполуки Нітрогену та Фосфору, трансформуючи їх у біомасу рослин-очисних агентів [1]. Таким чином забезпечується конверсія незасвоєних рибами цінних компонентів корму у білкову біомасу, що буде використана для підгодівлі об'єктів вирощування. Враховуючи, що амоній-йон є одним з найбільш токсичних метаболітів, які лімітують темпи росту риб в УЗВ, на основі опису динаміки даної сполуки у замкнутому контурі можна здійснювати розрахунок споруд біологічного очищення оборотної води та потреби у обсягах підживлювальної води.

© С.В. Кононцев, 2018

1. Очищення оборотної води УЗВ від сполук Нітрогену у процесі асиміляції рясковими

Обґрунтування використання ряскових в якості очисних агентів представлено при розробці методів очищення господарсько-побутових, промислових стічних вод, стоків тваринницьких комплексів [2–5]. Отримані результати підтверджують можливість адаптації окремих видів ряскових (*Lemnoideae*) до характерних показників забруднень стічних вод, а також високу асиміляційну потужність рослин при видаленні біогенних елементів.

Фітореактор з рясковими, включений у схему біологічного очищення оборотної води, має забезпечити видалення сполук Нітрогену у формі амоній-йону, які є основними розчиненими продуктами метаболізму риб, а також амонійного Нітрогену, що виділяється при мінералізації органічних забруднень очисними агентами біореакторів I та II ступеня (рис. 1).



Рисунок 1 – Принципова схема технології біологічного очищення оборотної води УЗВ

Оскільки в межах представленої системи практично неможливо забезпечити повне видалення з оборотної води забруднень, частина води у вигляді мулової суміші виводиться з контуру (подається на затоплений біофільтр), а втрачений об'єм поповнюється за рахунок підживлювальної води з природного джерела водопостачання.

Існуючі математичні моделі, що описують ріст популяції ряскових або динаміку вмісту у воді макроелементів внаслідок асиміляції рослинами, розроблені для водойм, що зазнають антропогенного впливу [6]. Окремими авторами здійснено моделювання процесів росту ряскових при їх культивуванні в ролі очисних агентів господарсько-побутових стічних вод або сировини для виробництва біопалива [7, 8]. На основі даних результатів визначено асиміляційний потенціал рослин за Нітрогеном та Фосфором, досліджено найбільш вагомі чинники, що впливають на темпи асиміляції в природних умовах. Склад забруднень, фізико-хімічні параметри оборотної води та особливості водокористування УЗВ створюють передумови для більш ефективного використання ряскових у процесах очищення від біогенних елементів, адже в межах замкнутого контуру мінімізується негативний вплив на рослини багатьох природних факторів.

2. Математичний опис процесів видалення сполук Нітрогену з оборотної води УЗВ

Відповідно до процесів, що протікають у замкнутому контурі рибницької системи, балансове рівняння динаміки амонійного Нітрогену буде мати наступний вигляд:

$$dC_{NH_4}/dt = Load_{NH_4} - Rate_{nitr} - Outage_{NH_4} - Uptake_{NH_4}, \quad (1)$$

де:

C_{NH_4} – концентрація амонійного Нітрогену в оборотній воді, г/дм³;

$Load_{NH_4}$ – обсяги амонійного Нітрогену, що надходять в систему у вигляді продукції метаболізму риб, г/доб;

$Rate_{nitr}$ – зниження концентрації амонійного Нітрогену внаслідок пасивної нітрифікації у аеробних біореакторах, г/доб;

$Uptake_{NH_4}$ – амонійний Нітроген, видалений з води у процесі асиміляції рослинами, г/доб;

$Outage_{NH_4}$ – амонійний Нітроген, видалений із скидною водою, г/доб.

Навантаження за амонійним Нітрогеном складається з рідких продуктів метаболізму риб та амонійного Нітрогену, що виділяється в процесі мінералізації органічних сполук мікробіотою:

$$Load_{NH_4} = Load_{fish} + Load_{sol} + Load_{gas}, \quad (2)$$

де:

$Load_{fish}$ – виділений рибами Нітроген у формі аміаку/амоній-йону, г/доб;

$Load_{sol}$ – кількість амонійного Нітрогену, що утворився внаслідок розкладу розчинених органічних сполук гетеротрофною мікробіотою (амоніфікації) у біореакторах, г/доб;

$Load_{gas}$ – кількість амонійного Нітрогену, що утворився внаслідок метаболізму червоногих моллюсків, г/доб.

Продукція метаболізму риб може бути розрахована з виразу:

$$Load_{fish} = 0,065 \cdot F \cdot k_p / 100, \quad (3)$$

де:

F – кількість корму, що вноситься у рибницькі басейни, кг/доб;

k_p – вміст білків у кормі, %.

Середній показник кормів, призначених для годівлі риб в УЗВ – 45%.

Відповідно:

$$Load_{fish} = 0,065 \cdot F \cdot 45 / 100 = 0,03 \cdot F. \quad (4)$$

Додаткове навантаження за амонійним Нітрогеном, що відбувається в процесі амоніфікації, може бути розраховане, виходячи з аналітичних даних [9], де зазначено, що при згодовуванні рибама 100 кг корму у розчиненому вигляді у воду надходить близько 3,9 кг сполук Нітрогену. Якщо у вигляді аміаку риби виділяють близько 3 кг пропорційно до вказаної кількості корму, очевидним є те, що близько 1 кг розчиненого Нітрогену надходить у воду у формі інших сполук (амінокислоти та інші розчинені продукти метаболізму). Відповідно, саме ця кількість сорбується на біоплівці та трансформується гетеротрофною мікробіотою. З урахуванням засвоєння мікробіотою біореактора частини сполук Нітрогену на приріст власної біомаси, навантаження від амоніфікації буде становити:

$$Load_{sol} = 0,007 \cdot F. \quad (5)$$

Виділений молюсками амонійний Нітроген можна розглядати як продукт катаболізму, що утворився внаслідок перетравлювання затриманих у біореакторі нерозчинених забруднень оборотної води, а також приросту біоплівки споруди:

$$Load_{gas} = Load_{gasdetr} + Load_{gasTSS}, \quad (6)$$

де:

$Load_{gasDetr}$ – кількість амонійного Нітрогену, що виділяється внаслідок споживання приросту біоплівки, г/доб;

$Load_{gasTSS}$ – кількість амонійного Нітрогену, що виділяється внаслідок споживання нерозчинених домішок, г/доб.

Враховуючи здатність молюсків засвоювати 45-55% Нітрогену із спожитого детриту [10] та припустивши, що біоплівка забезпечує приріст лише завдяки розчиненим сполукам, що сорбуються на ній, отримаємо:

$$Load_{gas detr} = 0,55 \cdot (0,01 - 0,007) \cdot F = 0,00165 F. \quad (7)$$

Кількість амонійного Нітрогену, що надійде у воду в процесі перетравлювання молюсками нерозчинених сполук, розрахуємо на основі аналітичних даних: відповідно до [2], на кожні 100 кг згодованого корму надходить близько 600 г Нітрогену у нерозчиненій формі. Основна частина незасвоєного Нітрогену виділиться у вигляді твердих відходів, що міститимуть близько 30% від його початкової кількості. Відповідно, у вигляді рідких метаболітів молюсків у воду надійде близько 25% від початкової кількості:

$$Load_{gasTSS} = 0,006 \cdot F \cdot 0,25 = 0,0015 \cdot F. \quad (8)$$

Отже, навантаження за амонійним Нітрогеном, виділеним у процесі життєдіяльності молюсків, становитиме:

$$Load_{gas} = 0,00165F + 0,0015F = 0,0031 \cdot F. \quad (9)$$

Таким чином, рівняння (2), що визначатиме потенційне навантаження за амонійним Нітрогеном, перетворюється у залежність:

$$Load_{NH_4} = 0,03 \cdot F + 0,007 \cdot F + 0,0031 \cdot F = 0,04 \cdot F. \quad (10)$$

Пасивна нітрифікація, яка може протікати у аеробних біореакторах, згідно з дослідженнями забезпечує зниження концентрації амонійного Нітрогену на 7–10%:

$$Rate_{nitr} = k_{nitr} \cdot Load_{NH_4}; \quad (11)$$

де:

k_{nitr} – коефіцієнт пасивної нітрифікації, прийнято рівним 0,07.

Кількість амонійного Нітрогену, видаленого із скидною водою, визначатиметься коефіцієнтом повторного використання води та навантаженням у вигляді рідких метаболітів риб:

$$Outage_{NH_4} = Load_{fish} \cdot (1 - K_{circ}); \quad (12)$$

де:

K_{circ} – коефіцієнт повторного використання води у господарстві.

У процесі очищення оборотної води розчинені сполуки Нітрогену асимілюють рослини. Тому динаміка видалення амонійного Нітрогену з оборотної води буде визначатись загальною біомасою рослин, що приймають участь в очищенні води, та темпами їх росту:

$$Uptake_{NH_4} = \mu_l \cdot P_l \cdot \gamma_N / 0,78, \quad (13)$$

де:

μ_l – питомий приріст біомаси ряскових, $доб^{-1}$;

P_l – загальна біомаса рослин у фітореакторі, кг;

γ_N – вміст Нітрогену у сирій масі ряскових, г/кг;

0,78 – перевідний коефіцієнт для перерахунку на амонійний Нітроген.

Оскільки основною функцією фітореактора у технології багатостадійного очищення є забезпечення видалення сполук Нітрогену, що надходять в процесі вирощування риб, концентрація NH_4^+ в оборотній воді має залишатись в межах допустимого рівня:

$$dC_{NH_4}/dt = 0. \quad (14)$$

Забезпечення даної умови у балансовому рівнянні (1) матиме вигляд:

$$Load_{NH_4} = Uptake_{NH_4} + Rate_{nitr} + Outage_{NH_4}. \quad (15)$$

Для господарства, де коефіцієнт повторного використання води становить $K_{circ}=0,9$, з урахуванням попередніх перетворень, отримаємо:

$$Load_{NH4} = Uptake_{NH4} + 0,07Load_{NH4} + 0,1 Load_{fish}. \quad (16)$$

Отже, очисна потужність біореактора має відповідати прогнозованому навантаженню за амоній-йоном:

$$\begin{aligned} Uptake_{NH4} &= Load_{NH4} - 0,07Load_{NH4} - 0,1 Load_{fish} = \\ &= 0,93 Load_{NH4} - 0,1 Load_{fish}. \end{aligned} \quad (17)$$

Таким чином, отримуємо:

$$\mu_l \cdot P_l \cdot \gamma_N / 0,78 = 0,037F - 0,003 F = 0,034 F. \quad (18)$$

Відповідно, зв'язок між обсягами згодованого рибакомбікорму та очисною потужністю біореактора має вигляд:

$$F = \mu_l \cdot P_l \cdot \gamma_N / 0,0265. \quad (19)$$

Вміст Нітрогену у хімічному складі ряскових коливається в обмеженому діапазоні та залежить від умов культивування. Тому в умовах фітореактора для очищення УЗВ γ_N залишається незмінним та може бути прийнятним рівним 4,8 г/кг (за усередненими даними [11–13]). Відповідно, необхідна кількість ряскових для нейтралізації потенційного навантаження за амонійним Нітрогеном (за умови достатнього часу контакту з водою) буде залежати від темпів приросту біомаси рослин в умовах біореактора:

$$P_l = 0,0265F / (\mu_l \cdot \gamma_N) = 5,52F / \mu_l. \quad (20)$$

Як видно з даного рівняння, питомий приріст ряскових фактично визначатиме очисну потужність фітореактора за Нітрогеном, адже нарощування біомаси на одиниці площі обмежене фізичними чинниками та морфологією рослин. Створення умов, за яких культивовані рослини проявлять максимальні темпи росту, забезпечить максимальну очисну потужність фітореактора. Отже, необхідно проаналізувати основні фактори, що впливають на ріст рослин у споруді. Темпи росту рослин в умовах фітореактора визначатимуться комплексом функцій:

$$\mu_l = \mu_{max} \cdot f(B) \cdot f(T) \cdot f(I) \cdot f(h), \quad (21)$$

де:

μ_{max} – максимальна швидкість росту, при культивуванні ряски малої в умовах УЗВ отримано: $\mu_{max} = 0,5 \text{ доб}^{-1}$;

$f(B)$ – функція, що визначає лімітування росту рослин вмістом поживних речовин та біогенних елементів;

$f(I)$ – функція, що враховує вплив інтенсивності освітлення;

$f(T)$ – функція, що враховує температурний фактор;

$f(h)$ – функція, що враховує тривалість періоду освітлення.

Оскільки вплив даних чинників має мультиплікаційну дію, при культивуванні рослин у фітореакторі неможливо буде компенсувати негативний вплив одного з факторів покращенням якогось іншого. Тому забезпечення належної інтенсивності видалення амонійного Нітрогену можливе лише при наближенні до оптимальних основних параметрів культивування.

Оскільки основними біогенними елементами, що визначають динаміку приросту водних макрофітів, є Нітроген та Фосфор, а функція лімітування буде здійснюватись лише одним із них, функція матиме вигляд:

$$f(B) = \left\{ \frac{B_N^2}{K_N^2 + B_N^2} \mid \frac{B_P^2}{K_P^2 + B_P^2} \right\}, \quad (22)$$

де:

B_N, B_P – концентрації у воді доступного Нітрогену та Фосфору, мг/дм³;

K_N^2, K_P^2 – константи напівнасичення, відповідно по Нітрогену та Фосфору.

При очищенні оборотної води УЗВ основну увагу приділяють найбільш токсичним для риб забрудненням – Нітрогену у формі амоній-йону або аміаку, тому в умовах фітореактора бажаним є, щоб лімітування росту рослин здійснювалось саме Нітрогеном. Фактично це означатиме, що ефект очищення за амонійним Нітрогеном буде наближатись до 100%. При цьому залишкові концентрації інших біогенних елементів не спричинятимуть небезпеки для риб та можуть залишатись у оборотній воді на рівні фонових. Константи напівнасичення за Нітрогеном згідно з даними різних авторів можуть коливатись в межах 0,15–0,3, тому за умови надходження у фітореактор забрудненої оборотної води із середніми концентраціями амонійного Нітрогену в межах 2-8 мг/л: $f(B) = 0,87-0,98$, для розрахунків прийемо рівним 0,95.

Оскільки температурний діапазон більшості тепловодних УЗВ не перевищує меж оптимуму для ряскових, функція температурного лімітування матиме вигляд:

$$f(T) = \exp \left(-2,3 \left(\frac{T_{opt} - T}{T_{opt} - T_{min}} \right)^2 \right). \quad (23)$$

При описі залежності приросту біомаси ряскових від інтенсивності освітлення розсіюванням світла у товщі води можна знехтувати, адже шар ряски знаходиться на її поверхні. Функція лімітування світлом представлена у вигляді:

$$f(I) = A_I \cdot \frac{I_z}{I_{opt}} \cdot \exp \left(I - \frac{I_z}{I_{opt}} \right); \quad (24)$$

де:

A_I – коефіцієнт, що враховує особливості спектра джерела освітлення та відповідність довжини хвилі оптимальному діапазону для даного виду;

I_z – значення інтенсивності освітлення поверхні, Лк;

I_{opt} – оптимальна для даного виду інтенсивність освітлення, Лк.

На основні аналізу джерел літератури, присвячених дослідженню культивування ряскових у штучних умовах [11, 12], можна зробити припущення, що дефіцит тривалості освітлення призведе до уповільнення темпів росту, пропорційного різниці оптимального діапазону та наявної тривалості. При цьому тривалість освітлення понад оптимальний період лише незначною мірою уповільнить темпи росту рослин порівняно із максимально можливими:

$$f(h) = \begin{cases} h_z/h_{opt}, & h < h_{opt} \\ 2h_{opt}/(h_{opt} + h_z), & h \geq h_{opt} \end{cases}; \quad (25)$$

де:

h_{opt} – оптимальний для даного виду період освітлення, год/доб;

h_z – тривалість періоду освітлення, год/доб.

Забезпечувати тривалість освітлення, що перевищує межі оптимальних значень, є нераціональним кроком, тому для опису лімітування росту тривалістю освітлення використовується лише складова, що передбачає зниження тривалості відносно оптимального періоду.

Відповідно, залежність приросту біомаси ряскових від абіотичних факторів набуде вигляду:

$$\mu_1 = 0,5 \cdot 0,95 \cdot \exp\left(-2,3 \left(\frac{T_{opt}-T}{T_{opt}-T_{min}}\right)^2\right) \cdot A_I \cdot \frac{I_z}{I_{opt}} \cdot \exp\left(1 - \frac{I_z}{I_{opt}}\right) h_z/h_{opt}; \quad (26)$$

Підбір спектра джерел штучного освітлення та забезпечення необхідного рівня інтенсивності в умовах фітореактора дозволяють уникнути лімітування за даним фактором: $f(I) \approx 1$. За умови підтримки температури води від 20°C до 28°C можна припустити також, що $f(T) \approx 1$. Таким чином, в наближених до оптимальних умовах, вираз (26) прийме вигляд:

$$\mu_1 = 0,475 h_z/h_{opt}. \quad (27)$$

Відповідно, взаємозв'язок між необхідною біомасою ряскових та кількістю згодованих кормів визначатиметься залежністю:

$$P_t = 11,62 \cdot F\left(h_{opt}/h_z\right). \quad (28)$$

Таким чином, необхідна для асиміляції сполук Нітрогену та Фосфору біомаса ряскових визначатиметься кількістю внесеного у систему корму та тривалістю періоду природного або штучного освітлення. Розрахунок необхідної біомаси ряскових при використанні кормів, що відрізняються за своїми якісними характеристиками від кормів провідних європейських виробників, має бути скоригований поправочним коефіцієнтом. Цей коефіцієнт має враховувати кількість амонійного Нітрогену, який додатково

виділиться у процесі окиснення мікробіотою пилоподібних часток, неперетравлених залишків кормів. Аналітичним шляхом таке навантаження розрахувати вкрай складно, тому більш раціональним є визначення поправочного коефіцієнта для кожного окремого випадку в процесі експериментальних досліджень.

3. Висновки та рекомендації

Основною задачею оптимізації роботи очисних споруд у складі УЗВ є зниження витрат на очищення оборотної води за умови досягнення необхідного ефекту видалення основних забруднень. Стосовно процесів асиміляції рослинами фітореактора сполук Нітрогену, відповідно до отриманих рівнянь, найбільш впливовими будуть наступні фактори: температура води, інтенсивність та тривалість періоду освітлення, наявність поживних речовин у необхідних для збалансованого живлення кількостях. Аналіз концентрацій основних розчинених забруднень оборотної води УЗВ підтверджує можливість ефективного культивування в таких умовах окремих видів ряскових. Температура води є тим параметром, зміна якого з метою інтенсифікації процесів очищення води у фітореакторі є нераціональною. По-перше, для більшості ряскових температура води тепловодних УЗВ знаходиться в межах оптимальних значень. Витрати на підігрів води в УЗВ з помірним температурним режимом (осетрові господарства) можуть бути виправданими лише при зниженні температури оборотної води нижче 8°C, що пов'язано з припиненням росту рослин за таких температур. Водночас, й темпи росту осетрових суттєво уповільнюються при зниженні температури води у басейнах до вказаного значення, що обґрунтовує доцільність підігріву її у рибницькій системі.

Інтенсивність освітлення є фактором, який в умовах фітореактора для ряскових раціонально підтримувати в межах оптимальних значень, що обґрунтовується експоненціальною складовою у функції (24). В окремих випадках, за потреби знизити очисну потужність фітореактора при зменшенні обсягів забруднень оборотної води УЗВ, зміна інтенсивності освітлення при підтримці заданої біомаси рослин може розглядатись як спосіб зниження енерговитрат на очищення води. При використанні для освітлення фітореактора люмінесцентних ламп зміна даного параметру можлива лише при відключенні частини світильників. Таким чином, люмінесцентні джерела світла не дозволяють ефективно регулювати інтенсивність освітлення. На противагу ним, світлодіодні лампи характеризуються можливістю регулювання яскравості, але для цього необхідно використання додаткового обладнання, що призводить до підвищення вартості самої системи. Більш раціональним шляхом регулювання асиміляційної активності рослин є зміна тривалості світлового періоду, яка може бути ефективно реалізована при використанні будь-яких джерел інсоляції. Оскільки, як зазначено вище, збільшувати тривалість освітлення понад межі оптимуму нераціонально, даний чинник може розглядатись лише для обґрунтованого зниження темпів росту ряскових. Водночас, в умовах фітореактора недопустимим є зниження тривалості освітлення менше ніж 6 годин на добу, що пов'язано з динамікою надходження сполук Нітрогену у оборотну воду та особливостями фотосинтетичної активності рослин. Відповідно, подовження періоду

освітлення до оптимальних значень дозволить збільшити до максимального рівня очисну потужність фітореактора й пропорційно скоротити необхідну площу під нього. За умови наявності вільних площ в межах виробничого комплексу більш раціональним рішенням буде пропорційне скорочення тривалості періоду освітлення, що дасть можливість знизити витрати на електроенергію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. L. Sabliy, S. Konontsev, J. Grokhovska, M. Widomski, et. al. Nitrogen removal from fish farms water by Lemna minor and Wolffia arrhiza. Proceedings Society of Ecological Chemistry and Engineering (SEChE). Opole (Poland). 2016. Vol. 10. No. 2. P. 499-504.
2. Zirschky J., Reed S.C. The use of duckweed for waste-water treatment Journal Water Pollution Control Federation. 1988. 60 (1). P. 1253-1258.
3. El-Kheir W.A., Ismail G., El-Nour A., Tawfik T. and Hammad, D. Assessment of the efficiency of duckweed (Lemna gibba) in wastewater treatment. International Journal of Agriculture and Biology. 2007. 5. P. 681-689.
4. El-Shafai S.A., El-Gohary F.A., Nasr F.A., Van Der Steen, et. al. Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed ponds system. Bioresour. Technol. 2007. 98. P. 798-807.
5. Xu J., Shen G. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production. Bioresour. Technol. 2011. 102. P. 848-853.
6. Frederic M., Samir L., Louise M., and Abdelkrim A. Comprehensive modeling of mat density effect on duckweed (Lemna minor) growth under controlled eutrophication. Water Research. 2006. Vol. 40. P. 2901-2910.
7. Hillman W. S. and Culley Jr, D. D. The uses of duckweed: The rapid growth, nutritional value, and high biomass productivity of these floating plants suggest their use in water treatment, as feed crops, and in energy-efficient farming. American Scientist. 1978. Vol. 66. No. 4. P. 442-451.
8. Ge X., Zhang N., Phillips G. C., Xu J. Growing Lemna minor in agricultural wastewater and converting the duckweed biomass to ethanol. Bioresource Technology. 2012. Vol. 124. P. 485-488.
9. Bregnballe J. A. Guide to Recirculation Aquaculture An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO and EUROFISH. 2015. 97 p.
10. Crab R., Avnimelech Y., Defoirdt T., Bossier P. et al. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production . Aquaculture. 2007. 270. P. 1-14.
11. Leng R. A., Stambolie J. H., Bell R. Duckweed – a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. Livestock Research for Rural Development. 1995. Vol. 7. Available at: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/lrrd/lrrd7/1/3.htm>
12. Mkandawire M., Dudel E. Are Lemna spp. Effective Phytoremediation Agents? Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability. 2007. 1. P. 56-71.
13. Макрофиты – индикаторы изменений природной среды. Д. В. Дубына, С. М. Стойко, К. М. Сытник [и др.]; под ред. С. Гейны, К. М. Сытник. К.: Наук. думка, 1993. – 434 с.

Стаття надійшла до редакції 01.03.2018.

УДК 004.9:004.75

Ю.М. ЛИСЕЦЬКИЙ

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ КОРПОРАТИВНИХ ІНТЕГРОВаних ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ

***Анотація.** Розглянуто інтегровані інформаційні системи та наведено їх класифікацію. Описано особливості побудови корпоративних інтегрованих інформаційних систем та проблему знаходження їх оптимального варіанта.*

***Ключові слова:** підприємство, корпорація, інформаційна система, інтеграція, класифікація, структура, екстремум, квазіоптимальність.*

Вступ

Процес управління підприємством – це комплекс завдань, який включає управління фінансами, виробничими та матеріальними ресурсами, процесами, що забезпечують, та персоналом. Всі ці завдання тісно пов'язані, але ефективно управління неможливе без контролю всього комплексу техніко-економічних показників [1, 2].

Для ефективного управління надзвичайно важливими є оперативність, повнота, несуперечливість та порівнюваність інформації, яку використовують під час прийняття управлінських рішень [3].

Оперативність забезпечує можливість своєчасно реагувати на зміну ситуації.

Повнота інформації необхідна для максимального урахування всіх факторів, які впливають на ефективність діяльності підприємства.

Несуперечливість та порівнюваність інформації пов'язані, у першу чергу, з часовими параметрами. Суперечливість інформації – це одна з головних проблем “клаптевої” інформатизації.

Для управління підприємством як єдиним комплексом необхідний відповідний інструментарій, у першу чергу, інтегрована інформаційна система (ІС) як один з головних інструментів управління.

Враховуюче викладене вище, зрозумілим є підвищений інтерес підприємств до ІС, які часто називають корпоративними інтегрованими інформаційними системами (КІС).

У даній статті під КІС мається на увазі сукупність різних програмно-апаратних платформ, універсальних та спеціалізованих додатків, інтегрованих в єдину інформаційно-однорідну систему, яка реалізує бізнес-стратегію кожного конкретного територіально розподіленого підприємства.

Метою статті є розгляд КІС у контексті оптимального рішення завдання побудови ефективної системи управління сучасним підприємством.

1. Інтеграція інформаційних систем

Головним завданням при інтеграції інформаційних систем є забезпечення єдності інформаційних баз та несуперечливість, а також порівнюваність інформації у системах, які інтегруються. Тому під ІС підприємства, як правило, розуміють комплекс інформаційних систем, що забезпечують бізнес-процеси підприємства та мають тісні інформаційні зв'язки.

ІС використовують для автоматизації всіх бізнес-процесів підприємства і вони охоплюють весь цикл його діяльності. Вони містять ряд модулів (підсистем), які працюють у єдиному інформаційному просторі й виконують функції підтримки відповідних напрямів діяльності [4].

ІС підприємства – це набір інтегрованих додатків, які комплексно в єдиному інформаційному просторі підтримують всі основні бізнес-процеси діяльності підприємства: планування ресурсів (фінансових, людських, матеріальних), оперативне управління, всі види обліку, ведення господарчої діяльності.

Складові інтеграції представлено на рис. 1.

Функціональна інтеграція забезпечує єдність цілей, узгодження критеріїв та процедур виконання виробничо-господарчих та технологічних функцій, спрямованих на досягнення встановленої мети. Основою функціональної інтеграції є оптимізація функціональної структури всієї системи, декомпозиція системи на локальні частини (підсистеми), формалізований опис функцій кожної підсистеми та взаємодія підсистем на рівні даних, інтерфейсів і протоколів.

Організаційна інтеграція полягає в організації раціональної взаємодії персоналу управління на різних рівнях ієрархії ІС та різних локальних її підсистем, що обумовлює узгодження дій персоналу з метою досягнення встановлених цілей та узгодженості управлінських рішень.

Інформаційна інтеграція передбачає єдиний комплексний підхід до створення та ведення інформаційної бази всієї системи та її компонентів на базі єдиного технологічного процесу збору, зберігання, передачі та обробки інформації, який забезпечує узгоджені інформаційні взаємодії всіх підсистем ІС.

Програмна інтеграція складається з використання узгодженого та взаємопов'язаного комплексу моделей, алгоритмів та програм для забезпечення загального функціонування всіх компонентів ІС.

Технічна інтеграція – це використання єдиного комплексу сукупних обчислювальних засобів, автоматизованих робочих місць спеціалістів та локальних мереж, об'єднаних в одну розподілену систему обробки інформації, яка забезпечує автоматизовану реалізацію всіх компонентів ІС.

Економічна інтеграція є узагальненим комплексним показником інтеграції системи й складається з забезпечення цілеспрямованого та узгодженого функціонування всіх компонентів ІС для досягнення максимальної ефективності всієї системи.

Таким чином, сучасний етап розробки ІС характеризується створенням різних систем корпоративного рівня, які не можуть працювати ефективно без інтеграції.

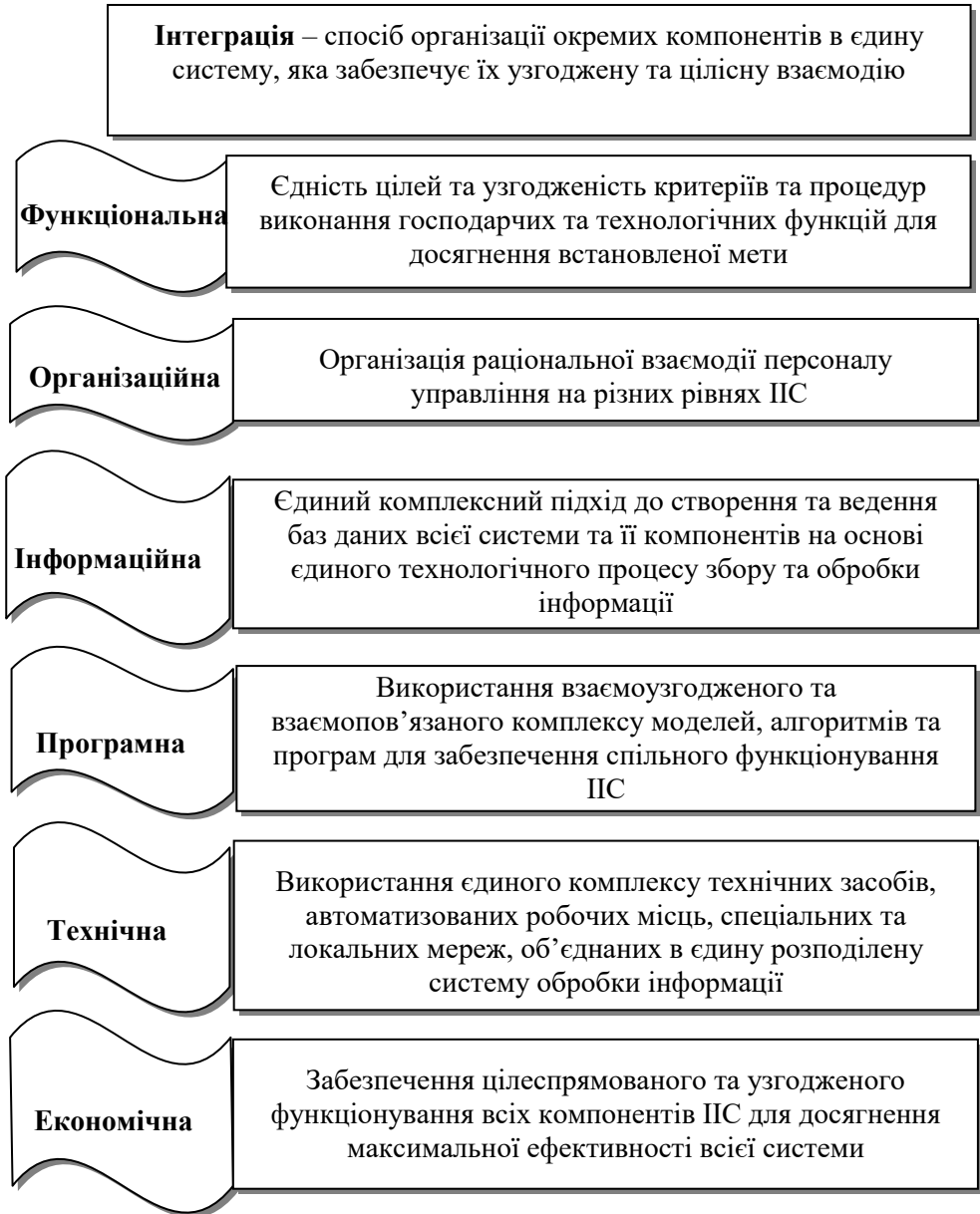


Рисунок 1 – Складові інтеграції

ІС базується на єдиній програмно-апаратній платформі та спільній базі даних. У ІС окремі функціональні підсистеми взаємопов'язані на основі єдиного технологічного процесу обробки інформації.

Класифікацію ІС представлено на рис. 2.

Клас, до якого можна віднести КІС, багато у чому визначається розміром, масштабом підприємства, на якому її впроваджено. Нас цікавлять великі інтегровані системи.

Великі (інтегровані) ІС призначені для підтримки управління складними структурами – корпораціями.

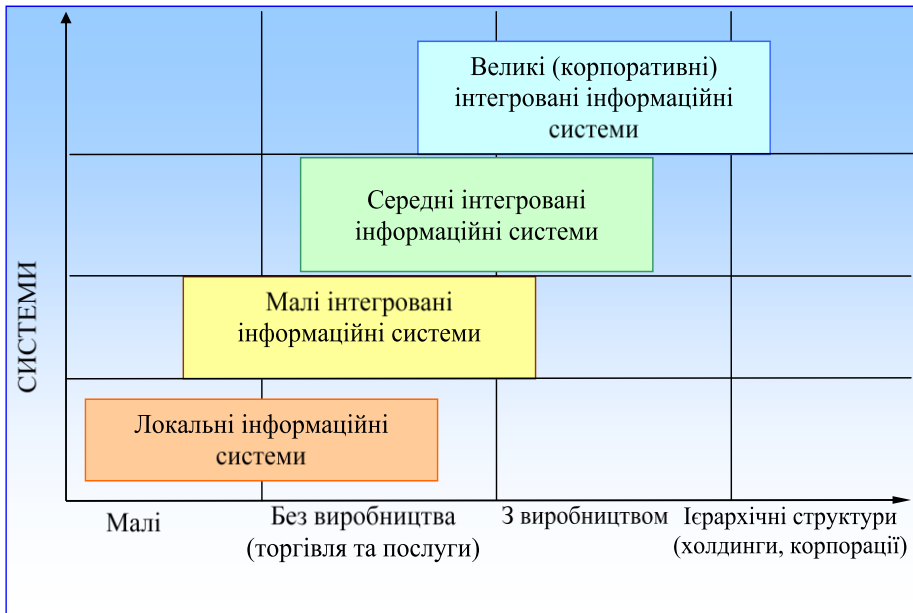


Рисунок 2 – Класифікація інтегрованих інформаційних систем

Корпорація – суб’єкт господарювання, який має ієрархічну структуру й містить підприємства різних масштабів (у тому числі, малі та середні) та профілю діяльності. Крім того, ці підприємства територіально розподілені. Саме тому такі системи, безумовно, повинні бути повнофункціональними й мати засоби автоматизації бізнес-процесів та підтримки прийняття рішень корпоративного управління.

2. Особливості побудови КІС

Сучасні проекти побудови КІС характеризуються, здебільшого, такими особливостями [5]:

- складність опису (достатньо велика кількість функцій, процесів, різномірних даних та складні взаємозв’язки між ними), яка потребує ретельного моделювання й аналізу даних та процесів;
- наявність сукупності компонентів, що тісно взаємодіють (систем та підсистем), мають свої локальні завдання й цілі функціонування;
- відсутність прямих аналогів, що обмежує можливість використання яких-небудь типових проектних рішень та прикладних систем;
- необхідність інтеграції існуючих систем та додатків з тими, що розробляються;
- функціонування у неоднорідному середовищі на різних програмно-апаратних платформах;
- територіальна розподіленість структурних підрозділів та систем і додатків, що використовуються в них.

Для успішної реалізації проекту об’єкт проектування КІС, як будь-яка складна система, повинен бути адекватно описаний, а також потрібно побудувати повні і несуперечливі функціональні та інформаційні моделі КІС

[6–8]. Накопичений на сьогодні досвід проектування КПС показує, що це логічно складна, трудомістка та тривала робота, що потребує високої кваліфікації задіяних спеціалістів. Однак донедавна проектування КПС виконували, здебільшого, на інтуїтивному рівні, з використанням неформалізованих методів, заснованих на мистецтві, практичному досвіді, експертних оцінках та дорогих експериментальних перевірках якості функціонування КПС. Крім цього, під час процесу створення та функціонування КПС потреби користувачів можуть змінюватися або уточнюватися, що ускладнює розробку та супроводження таких систем ще більше.

Тому в основі розробки та використання КПС, як і будь-якої складної системи, повинен бути системний підхід. Тільки такий підхід може комплексно охопити проблему [9–11].

Побудова будь-якої системи визначається її структурою, з якої можна дізнатися будову системи. Взаємодія системи з зовнішнім середовищем дозволяє виявити функції системи як прояв її якостей у часі.

Отже, побудова системи та її функції пов'язані через просторово-часове відношення між її елементами.

У системному підході елементами є окремі підсистеми, які за ієрархічної побудови мають вертикальну підпорядкованість. Ієрархічність системи може бути виділена за різними напрямками: організація, функція, технічні засоби та інше.

Відповідно, для таких систем вирізняють такі поняття: організаційна структура, функціональна структура, технічна і т.д.

Це особливо притаманне територіально розподіленим структурам.

Особливості розгортання інформаційно-технологічної інфраструктури у територіально розподілених організаціях залежать від масштабу їх бізнесу та вимог до його ефективності. Такі організації можна умовно поділити на три категорії [5]. До першої належать ті, чия структура передбачає чітко позначений центр управління та однотипні віддалені філії. Представники другої категорії теж мають єдиний центр, але їх регіональні відділення більш самостійні. І, нарешті, третя категорія – холдинги, що поєднують компанії різних розмірів та спеціалізацій.

Стратегія розвитку територіально розподілених компаній різна та, зазвичай, залежить від сектора економіки. Розпочинаючи побудову КПС для такої організації, необхідно заздалегідь вивчити інформаційну модель її бізнесу. І на цьому етапі формалізувати структуру організації, бізнес-процеси та логіку їх взаємозв'язку, визначити, які інформаційно-технічні ресурси задіяні у підрозділах, що відбувається на різних рівнях управління, коректно зіставити територіальну та логічну структури та ін.

При побудові таких систем для об'єднання їх у єдину КПС необхідно вирішити дуже складне завдання технологічної та інформаційної інтеграції, яка має бути проведена на транспортному, інфраструктурному, системному та прикладному рівнях. У рамках цього процесу необхідно забезпечити інтеграцію інтерфейсів, даних та додатків. Тільки при вирішенні всього комплексу завдань з інтеграції можливо побудувати сучасну КПС, що дозволяє ефективно вирішувати бізнес-задачі у відповідності з обраною стратегією розвитку підприємства.

Висновки

Таким чином, пошук оптимального з точки зору заданих критеріїв варіанта КПС як складної системи необхідно здійснювати на кінцевій множині альтернатив, сформованих наборами допустимих вихідних даних, що описують відповідну систему при існуючих обмеженнях.

Головною ж проблемою при побудові КПС є неможливість знаходження глобального екстремума в цілому для системи через його зміненість для кожної з підсистем та, як наслідок, оптимального варіанта реалізації КПС. Тому, стосовно до КПС, можна говорити лише про квазіоптимальні варіанти. Кінцевий вибір варіанта для реалізації серед квазіоптимальних повинен виконуватися за допомогою додаткового критерію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизация управления предприятием / В. В. Баронов, Г. Н. Калянов, Ю. И. Попов [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 239 с.
2. Завгородний В. П. Автоматизация бухгалтерского учета, контроля, анализа и аудита / Завгородний В. П. – К.: А.С.К., 1998. – 755 с.
3. Бешенков С. А. Информация и информационные процессы / Бешенков С. А., Лыскова В. Ю., Ракитина Е. А. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 1999. – 85 с.
4. Зеленская О. В. Интегрированная автоматизированная система управления предприятием / О. В. Зеленская, В. В. Голубева, О. А. Шлегель // Вестник ТГУС. – (Серия «Экономика»). – 2007. – Вып. 2. – С. 96–101.
5. Лисецкий Ю. М. Проблемы построения интегрированных информационных систем с заданными свойствами / Ю. М. Лисецкий // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 4. – С. 23–25.
6. Молчанов А. А. Моделирование и проектирование сложных систем / Молчанов А. А. – К.: Выща школа, 1988. – 339 с.
7. Пономаренко В. С. Проективання автоматизованих економічних інформаційних систем / Пономаренко В. С., Пушкар О. І., Коваленко Ю. І. – К.: ІЗМН, 1996. – 312 с.
8. Матвеевский С. Ф. Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов / Матвеевский С. Ф. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
9. Тимченко А. А. Основы системного проектирования и системного анализа сложных объектов / Тимченко А. А. – К.: Лыбедь, 2000. – 272 с.
10. Тимченко А. А. Системний підхід до наукового дослідження (методико-технологічні аспекти) / А. А. Тимченко // Вісник ЧДТУ. – 2005. – № 1. – С. 191–197.
11. Лисецький Ю. М. Дослідження підприємств за допомогою системного підходу / Ю. М. Лисецький // Математичне моделювання в економіці. – 2014. – № 1. – С. 159–166.

Стаття надійшла до редакції 05.03.2018.

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 330.101.541-336.7

Б.Б. ДУНАЄВ, О.О. ЛЮБІЧ

МОДЕЛЮВАННЯ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

***Анотація.** Запропонована авторська динамічна дискретна модель функціонування економіки країни на макрорівні, в якій досягається рівновага економіки, тобто зростання реального ВВП, за рахунок розширеного відтворення виробничого капіталу й кількості грошей в обігу, а ринкова рівновага досягається за рахунок саморегулювання інфляції і безробіття. Проведено моделювання можливого розвитку економіки України на 2019–2022 роки. Доведено, що стабільне зростання реального ВВП в Україні на рівні 3% можливо лише за умов інвестування у виробництво з року в рік в обсязі 50% валового внутрішнього продукту.*

***Ключові слова:** економіка, ринок, попит, пропозиція, рівновага, криза, праця, капітал, гроші, відтворення, інвестиції, амортизація, інфляція.*

Вступ

На цей час існує декілька напрямків теоретичних поглядів, методів і моделей для отримання оцінок майбутнього розвитку макроекономічних процесів у межах середньострокової перспективи [1].

Використання при макромоделюванні теорії «реального бізнес-циклу» поряд із існуванням кейнсіанських підходів до регулювання економіки було предметом вивчення відомого напрямку економічної теорії під назвою неокласичний синтез. Сутність теорії полягає у поєднанні макроекономічних засад кейнсіанства з елементами ринкового регулювання неокласичної школи. Саме фундаментальні принципи теорії неокласичного синтезу дали можливість найбільш уживаного прогностичного апарату впродовж двадцяти років поспіль. Відомими моделями того часу, супровід яких триває дотепер з певними коригуваннями, є QPM (Канада), FRB/US США, JEM (Японія), FPS (Нова Зеландія) [2, с. 7–8]. Наявність проблем з нівелюванням невизначеності в процесі узгодження першого та другого кола структурної ієрархії прогностичних комплексів за допомогою коригування параметрів призвели до появи стохастичної динамічної моделі загальної рівноваги (Dynamic Stochastic General Equilibrium – DSGE), яка базується на новій теорії неокласичного синтезу і називається «ною кейнсіанською моделлю». Якщо за звичайного кейнсіанського підходу балансування

загальної рівноваги відбувається за рахунок коригування попиту з метою досягнення повної зайнятості, то згідно з концепцією DSGE зазначений ефект досягається завдяки стабілізації цін для отримання потенційного обсягу виробництва [3, с. 21]. Використання DSGE моделей як інструменту імітації економічної ситуації зайняло рейтингові позиції за кількістю практичної реалізації. DSGE моделі підтримують різноманітність у практичній площині відтворення поведінки носіїв прийняття рішень, кількість яких залежить лише від цілей та обсягу завдань, які необхідно вирішувати. Тому такі моделі дають широке поле для вирішення сценарних модифікацій коригування економічної політики, що використовується центральними банками країн світу [4]. До практично реалізованих DSGE моделей відносяться TOTEM (Канада), MAS (Чилі), GEM (МВФ), BEQM (Велика Британія), NEMO (Норвегія), NAWM (ЄС) [3, с. 8–9]. DSGE моделі вирізняються невеликою кількістю рівнянь (близько 300), на противагу розробкам на основі неокласичного синтезу (декілька тисяч), оскільки використання великої кількості взаємозалежностей при моделюванні унеможливує застосування апарату DSGE. Створення модельної конструкції великого обсягу, поряд із врахуванням великої кількості даних, погіршує сценарний апарат імітації економічної ситуації.

Використання вищезгаданих моделей базується на застосуванні кривої Філіпса, внаслідок чого результати аналізу і прогнозування розвитку економіки мають суттєві помилки і не забезпечують достовірність розрахунків [5–8].

Поряд з цим існують моделі, які дозволяють підвищити достовірність прогнозів на строгій математичній базі з урахуванням існуючих кон'юнктури споживчого попиту, ринкової кон'юнктури і кон'юнктури ризиків та стимулів. В Інституті кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України була побудована в 1996 р. модель розрахунків прогнозних значень макропоказників економіки України, на базі якої було проведено їх моделювання на період до 2015 року. При цьому враховувалося циклічну зміну вихідних значень виробничого капіталу, інвестицій, кількості працюючих та інфляції за фазами: спад (рецесія) – підйом – стабільне зростання [9]. Відповідно до цих трьох фаз, між якими знаходився також перехідний період, налаштовувалися виробничі функції з урахуванням наявних даних і використанням експертних оцінок для оцінки інтенсивності динаміки величини ВВП [9, с. 25].

На відміну від моделі Інституту кібернетики НАН України, авторська динамічна дискретна детермінована модель ДННУ «Академія фінансового управління» дозволяє з використанням тридцяти рівнянь визначити макроекономічні показники впродовж періоду від $t-1$ до t при прогнозованих: чисельності населення T ; кількості грошей в обороті $M1\mu$, де $M1$ – сума готівки і депозитів до запитання, μ – швидкість обігу грошей; ризиках і стимулах [5–8].

На відміну від звичайного кейнсіанського підходу ринкового балансування за рахунок коригування попиту з метою досягнення повної зайнятості та на відміну від концепції DSGE завдяки стабілізації цін для отримання потенційного обсягу виробництва, модель ДННУ «Академія фінансового управління» досягає рівноваги економіки, тобто зростання

реального ВВП, за рахунок розширеного відтворення виробничого капіталу і кількості грошей в обігу, а ринкової рівноваги досягає за рахунок саморегулювання інфляції та безробіття.

1. Регулювання кількості грошей в обігу

Економіка країни складається з реального та фінансового секторів. У фінансовому секторі реалізується спекулятивний попит на гроші через вторинні і третинні цінні папери. Фінансовий сектор функціонує незалежно від реального сектора і чинить на нього вплив тільки через перерозподіл спекулятивних грошей у виробництво, що обіцяє великі прибутки, і через вилучення прибутку виробництва на шкоду реальному сектору [7, 8]. Функціонування реального сектора, що складається зі сфери виробництва і невиробничої сфери, забезпечують ринки грошей, благ і праці.

Центральний банк (ЦБ) проводить регулювання в економіці країни кількості грошей в обігу. Створення грошей дворівневою банківською системою визначається грошовою базою H , мінімальними резервами M_p , надлишковими резервами I_p , кредитами \mathcal{E} та депозитами D банків і готівкою M_0 . Депозити банків складаються з депозитів до запитання D_1 , строкових депозитів D_2 і довгострокових депозитів D_3 , $D = D_1 + D_2 + D_3$ [5, 6]. В існуючій протягом року на ринку грошей грошовій масі виділяються три грошових агрегати: $M_1 = M_0 + D_1$; $M_2 = M_1 + D_2$; $M_3 = M_2 + D_3$. При балансі банківської системи ε і виданих банками кредитах \mathcal{E} створення грошей виражається рівняннями:

$$H = M_0 + M_p + I_p; \varepsilon = M_3 - H - \mathcal{E}.$$

Якщо ввести коефіцієнти: $(M_p + I_p) / D_1 = \alpha$ – встановлений НБУ норматив резервів, $M_0 / D_1 = \beta$ – відношення готівки до депозитів до запитання, то процес створення грошей банківською системою представляється рівняннями:

$$H = (\alpha + \beta)D_1; \mathcal{E} = M_3 - H - \varepsilon. \quad (1)$$

Звідси виражається тотожність суми готівки і депозитів до запитання M_1 добутку грошового мультиплікатора $m = (1 + \beta) / (\alpha + \beta)$ і грошової бази H [5, 6]:

$$M_1 \equiv mH. \quad (2)$$

В аналізованому періоді t на ринку благ відношення ВВП номінального ω_t до ВВП реального Ω_t визначає дефлятор ВВП, тобто індекс зміни рівня цін,

$$P_t = \omega_t / \Omega_t. \quad (3)$$

Рівновага на ринку благ забезпечується рівністю вартості проданих благ $P\Omega$ і вартості куплених благ усіма економічними суб'єктами: сектором домашніх господарств C ; сферою виробництва $R_{пр}$; державою J_r (невиробничою сферою) і закордоном (різницею експорту E та імпорту Z) –

$$\omega = P\Omega = C + R_{пр} + J_r + E - Z \text{ при } P > 1. \quad (4)$$

Рівновага на ринку благ можлива при наявності інфляції, $p = P - 1 > 0$ [5–7].

За розглянутий період, зазвичай рік, виробники можуть отримати за продані блага таку суму грошей, якою володіють споживачі, тобто яка визначає грошовий попит, що дорівнює номінальному ВВП ω :

$$\omega = P_{дн} \bar{\Omega}, \quad (5)$$

де $P_{дн}$ – грошовий дефлятор; $\bar{\Omega}$ – реальний споживчий попит [6, с. 41].

Скільки разів у середньому за рік підприємці отримують дохід $M1$, така буде швидкість обігу грошей μ в грошовому кругообігу, $\mu = \omega / M1$. Звідси попит економічних суб'єктів на гроші M^D протягом року при швидкості обігу грошей μ визначається згідно з (5) сумою готівки і депозитів до запитання:

$$M^D = M1 = P_{дн} \bar{\Omega} / \mu. \quad (6)$$

Кредити банків $\bar{\mathcal{E}}$, за рахунок яких функціонує фінансовий сектор, при наявності річного фінансового резерву, $\varepsilon > 0$, не можуть перевищувати згідно з (1) кредитну базу $\bar{\mathcal{E}}$, яка дорівнює сумі депозитів за вирахуванням резервів [5–7],

$$\bar{\mathcal{E}} = D - M_p - I_p. \quad (7)$$

При виданих комерційними банками кредитах $\bar{\mathcal{E}}$, більших наявних у них депозитів D , балансом банківської системи $\varepsilon = \bar{\mathcal{E}} - \mathcal{E}$ відповідно до (1) і (7) стає грошовий дефіцит, $\varepsilon < 0$ при $\bar{\mathcal{E}} > D$, настає кредитна криза – вкладникам не можуть бути повернуті їх депозити, банки перестають кредитувати сферу виробництва і один одного, єдиним кредитором залишається ЦБ [6–8]. Нарощуючи грошову базу H через надлишкові резерви, ЦБ звужує кредитну базу, тобто поглиблює кредитну кризу.

Рівновага банківської системи країни, яка визначається наявністю фінансового резерву, $\varepsilon > 0$, можлива згідно з (1) при кредитах комерційних банків \mathcal{E} , не більших різниці грошової маси і грошової бази,

$$\mathcal{E} \leq M3 - H. \quad (8)$$

При виданих кредитах \mathcal{E} отримаємо суму готівки і депозитів до запитання $M1^*$, мінімально необхідну для угод купівлі-продажу, $M1^* + D_2 + D_3 \geq \mathcal{E} + H$. Звідси згідно з (2) визначається мінімально необхідна сума $M1^* \geq mH - \varepsilon$ [5–7]. При наявності резерву, $\varepsilon \geq 0$, спекулятивний попит на гроші у фінансовому секторі не впливає згідно з (2) на суму $M1$ для угод купівлі-продажу на ринку благ, тому що $M1 \equiv mH \geq M^*$ при $\varepsilon \geq 0$, і на функціонування реального сектора. При кредитній кризі, що викликається спекуляціями у фінансовому секторі, немає резерву, $\varepsilon < 0$, тому кількість грошей в обігу недостатня для проведення угод купівлі-продажу на ринку благ і повернення банкам кредитів, $M1 \equiv mH < M^*$ при $\varepsilon < 0$, а реальний сектор стикається з ризиком дефляції. Вихід з кредитної кризи можливий при збільшенні грошової маси і депозитів в необхідному для повернення кредитів розмірі, тобто при зростанні інфляції.

Умовою рівноваги на ринку грошей, при забезпеченні відповідно до (5) рівності кількості грошей в річному кругообігу $M1\mu$ грошовому попиту $P_{\text{дн}}\bar{\Omega}$, є величина грошового дефлятора не менша одиниці [5–7]:

$$M1\mu = P_{\text{дн}}\bar{\Omega} \quad \text{при } P_{\text{дн}} > 1. \quad (9)$$

Згідно з (5) і (9) грошовий дефлятор $P_{\text{дн}}$ не впливає на швидкість обігу грошей μ . Реальна вартість грошей тотожна відношенню суми $M1$ до грошового дефлятора [5]:

$$M^* \equiv M1 / P_{\text{дн}}. \quad (10)$$

Згідно з (9) і (10) швидкість обігу грошей при реальному споживчому попиті $\bar{\Omega}$ визначається тільки реальною вартістю грошей M^* і не залежить від суми готівки і депозитів до запитання $M1$,

$$\mu = \bar{\Omega} / M^*. \quad (11)$$

Попит на гроші M^D економічних суб'єктів для угод купівлі-продажу з урахуванням альтернативних витрат упущеного доходу від зберігання грошей в банку по встановленій ЦБ ставці відсотка i визначається моделлю Баумоля – Тобіна як попит на реальні грошові залишки [5–8]. Оптимальний попит економічних суб'єктів на гроші для угод купівлі-продажу від ставки відсотка i визначається функцією [5–7]:

$$M^D = M1 = P_{\text{дн}} \sqrt{0,5b\bar{\Omega}/i}, \quad (12)$$

де b – реальна вартість зняття грошей з рахунку в банку.

Національний банк згідно з (2) може запропонувати в даному році стільки грошей, скільки їх запитують $M^D = M1$, і може здійснювати при банківській

рівновазі (8) регулювання від року до року рівноваги на ринку грошей згідно з (9), $M1 = P_{\text{дн}} \bar{\Omega} / \mu$, наданими їм величиною $M1$ і ставкою відсотка i , яка визначає згідно з (12) швидкість обігу грошей, $\mu = \sqrt{2i\bar{\Omega}/b}$, [5–7].

2. Модель рівноваги економіки

Рівновага економіки країни забезпечується зростанням реального ВВП. Відношенням реального ВВП Ω_t року t до номінального ВВП ω_{t-1} попереднього року $t - 1$ вимірюється згідно з (3) зміна реального ВВП в цінах попереднього року:

$$\delta_t = \Omega_t / (P_{t-1} \Omega_{t-1}) - 1. \quad (13)$$

Спад реального ВВП, тобто $\delta_t < 0$, означає порушення рівноваги, економічну кризу. Споживчий попит в даному році згідно (4) залежить від попиту виробничого сектора на капітал, тобто від інвестицій у виробництво $R_{\text{пр}}$. Попит виробництва на інвестиції визначається амортизацією A завантаженого у сфері виробництва капіталу вартістю K і чистими інвестиціями $J_{\text{ч}}$, $R_{\text{пр}} = A + J_{\text{ч}}$.

Основним джерелом інвестицій у виробництво є амортизаційні відрахування $A = P\theta K$ з завантаженого у виробництві капіталу при нормі амортизації θ . Чисті інвестиції є частиною чистого прибутку \mathcal{C} виробництва з завантаженого капіталу, інша частина $I_{\text{дх}}$ є доходом домашніх господарств з капіталу, $\mathcal{C} = J_{\text{ч}} + I_{\text{дх}}$. Інвестиції, більші амортизації, забезпечуються чистими інвестиціями. Джерелом зростання реального ВВП, збільшення наявного у виробництві капіталу $K_{\text{пр}}$ і зростання споживчого попиту є одержуваний виробництвом прибуток π з завантаженого капіталу K . Частина прибутку вилучається державою у вигляді податку $H_{\text{пр}}$ з доходу виробництва і витрачається на утримання невиробничої сфери та на пенсійне забезпечення населення. Реальний чистий прибуток виробництва при ставці χ податку $H_{\text{пр}} = \chi Y$ з доходу виробництва Y визначається функцією $\mathcal{C} = \mathcal{C} / P = (1 - \chi)(\Omega - \theta K) - w\Pi$, де $w = W / P$ – ставка реальної зарплати. Звідси при виплаченій у сфері виробництва реальній зарплаті $w\Pi$, де Π – кількість працюючих у виробництві, завжди існує норма амортизації простого відтворення капіталу $\bar{\theta} = [\Omega - w\Pi / (1 - \chi)] / K$, при якій чистий прибуток дорівнює нулю. Висловивши $w\Pi$, отримаємо закон реального чистого прибутку [5–8]:

$$\mathcal{C} = K(1 - \chi)(\bar{\theta} - \theta). \quad (14)$$

При нормі амортизації простого відтворення, $\theta = \bar{\theta}$, і інвестиціях, менших амортизації, $R_{\text{пр}} < A$, можливе тільки звужене відтворення капіталу,

тобто відбувається проїдання капіталу. Межею норми амортизації є норма вибуття капіталу з експлуатації $\theta_{\text{выб}}$, що визначається його фізичним зносом і моральним старінням. В межах $\theta_{\text{выб}} < \theta < \bar{\theta}$ здійснюється прискорена амортизація капіталу. Норма амортизації, менша норми вибуття, $\theta < \theta_{\text{выб}}$, зменшує наявний у сфері виробництва капітал на величину недоамортизації, $\Delta = (\theta_{\text{выб}} - \theta)KP$, тому вартість наявного у виробництві капіталу визначається функцією [5, 6]:

$$K_{\text{пр}t} = P_{t-1}K_{\text{пр}t-1} + J_{\text{ч}t-1} - \Delta_{t-1}. \quad (15)$$

Чисті інвестиції повинні регулюватися державою нормою ψ з чистого прибутку (14) через заохочувальне оподаткування, $J_{\text{ч}} = \psi KP(1 - \chi)(\bar{\theta} - \theta)$.

У реальній економіці капітал у сфері виробництва завантажується не повністю, а в залежності від ринкової кон'юнктури, пропорційно коефіцієнту завантаження ν , $K = \nu K_{\text{пр}}$ [5–7, 10]. Підприємці регулюють об'єми виробництва в році t по об'єму продаж в попередніх роках зміненням кількості працюючих Π_t відносно кількості в попередньому році Π_{t-1} по ринковій кон'юнктурі \mathfrak{R}_{pt} , $\Pi_t = \mathfrak{R}_{pt}\Pi_{t-1}$. Кон'юнктурне змінення підприємцями кількості працюючих викликає пропорційне змінення коефіцієнта завантаження капіталу, $\nu_t = \nu_{t-1}\mathfrak{R}_{pt} = \nu_{t-1}\Pi_t / \Pi_{t-1}$.

При рівновазі на ринку благ, тобто при наявності інфляції, $p = P - 1 > 0$, ринкова кон'юнктура у році t визначається підприємцями за темпом зміни обсягу продаж $1 + \delta_{t-1}$ в попередньому році з вирахуванням зміни обсягу продажів δ_{t-2} в попередньому йому році $t - 2$. А при дефляції, $P < 1$, ринкова кон'юнктура в році t визначається за рівнем продаж, тобто рівнем цін, в попередньому році [5–7],

$$\mathfrak{R}_{pt} = \begin{cases} 1 + \delta_{t-1} - \delta_{t-2} & \text{при } P_{t-1} > 1; \\ P_{t-1} & \text{при } P_{t-1} < 1. \end{cases} \quad (16)$$

Є ринкова рівновага при рівновазі на ринках грошей і благ і при наявності безробіття на ринку праці [5–8]. Фактичне безробіття дорівнює різниці повної зайнятості населення в економіці N_0 і фактичної кількості N працюючих,

$$f_{\Phi} = N_0 - N. \quad (17)$$

На ринку праці настає рівновага при відсутності безробіття, тобто при $f_{\Phi} = 0$. Звідси визначається рівень безробіття

$$\varphi = f_{\Phi} / N_0 = (N_0 - N) / N_0. \quad (18)$$

При ставці реальної зарплати $w \geq 12и / (1+n)$, де $и = I_{\text{дх}} / (TP)$ – реальний дохід домашніх господарств з капіталу на одного мешканця країни; T – чисельність населення і n – ставка пенсійного податку з зарплати, пропозиція праці може бути прийнята рівною кількості повної зайнятості населення, $N_0 \approx N^S [w = 12и / (1+n)] = 0,46T$ [5–8].

Кількість грошей в обороті $M1\mu$ відповідно до (5) і (9) визначає і обмежує грошовий споживчий попит на ринку благ, тобто номінальний ВВП, і визначає рівновагу рівністю попиту та пропозиції,

$$\omega = P_{\text{дн}} \bar{\Omega} = P\Omega = M1\mu . \quad (19)$$

Величина реального ВВП апроксимується функцією кількості працюючих Π , завантажених у сфері виробництва, і капіталу вартістю K :

$$\Omega = \sigma Q = \sigma \Pi^{1/\ln k_0} K^{1-1/\ln k_0} , \quad (20)$$

де Q – реальний сукупний суспільний продукт, σ – коефіцієнт матеріаломісткості виробництва, $k_0 = K / \Pi_0$ – рівноважна капіталомісткість праці, $\Pi_0 = \xi N_0$ – кількість працюючих у виробництві при повній зайнятості населення в економіці, $\xi = \Pi / N$ – коефіцієнт працюючих у виробництві, $1/\ln k_0$ – коефіцієнт технології виробництва [5–8].

При відсутності безробіття, $N = N_0$, забезпечується рівновага на ринку праці з рівноважною ставкою реальної зарплати $w_0 = k_0 / (e \ln k_0)$, де $e = 2,71828$.

Реальний споживчий попит $\bar{\Omega}$ вимірюється реальним ВВП при повній зайнятості населення, $N = N_0$, тобто згідно з (20) отримаємо $\bar{\Omega} = \Omega(N_0) = \sigma Q_0 = \sigma K e^{-1}$. Звідси коефіцієнт технології виробництва дорівнює частці оплати праці у вартості рівноважного реального сукупного суспільного продукту Q_0 або відношенню рівноважної ставки зарплати і досягнутої продуктивності праці, $1/\ln k_0 = w_0 \Pi_0 / Q_0$ [5, 7].

Підставивши в рівняння (9) величину реального споживчого попиту $\bar{\Omega}$, отримаємо умову рівноваги на ринку грошей $M1\mu = P_{\text{дн}} \sigma K e^{-1}$. Звідси грошовий дефлятор обернено пропорційний вартості завантаженого у сфері виробництва капіталу,

$$P_{\text{дн}} = eM1\mu / (\sigma K) . \quad (21)$$

Реальна вартість грошей M^* пропорційна вартості K завантаженого у виробництві капіталу, обернено пропорційна швидкості обігу грошей μ і не залежить від суми $M1$, $M^* \equiv M1 / P_{\text{дн}} = \bar{\Omega} / \mu$.

Згідно з (19), (20) і (18) визначаються виробничий дефлятор відношенням реального споживчого попиту до реальної пропозиції благ [5–8],

$$P_{\text{пр}} = \bar{\Omega} / \Omega = (N_0 / N)^{1/\ln k_0} = (1 - \varphi)^{-1/\ln k_0}, \quad (22)$$

і рівність дефлятора ВВП добутку дефляторів грошового і виробничого, $P = P_{\text{дн}} P_{\text{пр}}$. Дефлятор ВВП, або інфляція $p = P - 1$, як результат регулювання центральним банком кількості грошей і інфляційного регулювання рівноваги на ринку благ, є функцією грошового дефлятора і рівня безробіття:

$$P = P_{\text{дн}} (1 - \varphi)^{-1/\ln k_0}. \quad (23)$$

Згідно з (20)–(22) збільшення капіталу знижує інфляцію і викликає зростання праці, а також визначає необхідність збільшення кількості грошей в обігу.

Закон розвитку економіки: збільшення капіталу, завантаженого у виробництві, викликає зростання праці, зменшує безробіття та інфляцію, підвищує виробництво благ, визначає зростання грошей.

Збільшення центральним банком кількості грошей понад необхідного по зростанню капіталу згідно з (21) призводить до зростання грошової маси та інфляції і забезпечує відповідно до (8) вихід фінансового сектора з кредитної кризи.

3. Інфляційне регулювання ринкової рівноваги

При рівновазі на ринку грошей, розширеному відтворенні завантаженого у сфері виробництва капіталу, $K_t > P_{t-1} K_{t-1}$, і наявності безробіття рівняння (9), (17) і (19) описують інфляційне стабільне саморегулювання ринкової рівноваги [5–7]:

$$M1\mu = P_{\text{дн}} \bar{\Omega}; P\Omega = P_{\text{дн}} \bar{\Omega}; f_{\Phi} = N_0 - N \text{ при } K_t > P_{t-1} K_{t-1}, P > 1 \quad (24)$$

$$N < N_0.$$

Рівновага, яка саморегулюється на ринку благ за величиною дефлятора ВВП, не меншою одиниці, є стабільною. Необхідними умовами стабільної рівноваги в реальному секторі економіки є дефлятор ВВП, не менший одиниці $P \geq 1$, і наявність безробіття, $f_{\Phi} > 0$. Таким станом при кредитній кризі, $\varepsilon < 0$, характеризуються економіки високорозвинених країн після кризи, що розпочалася в 2008 р. При відсутності безробіття, кількість працюючих в країні є надлишкова, $N > N_0$, тому відповідно до (17) і (18) безробіття і рівень безробіття негативні, $f_{\Phi} < 0$, $\varphi < 0$ при $N > N_0$. Надмірна кількість працюючих в економіці призводить згідно з (20) до реальної пропозиції благ, більше реального споживчого попиту $\bar{\Omega}$, $\Omega > \bar{\Omega}$ при $N > N_0$, тому може бути порушена рівновага в реальному секторі економіки через перевиробництво благ. Для забезпечення рівноваги на ринку благ при $N > N_0$, необхідно центральному банку забезпечити кількість грошей в

обороті $M1\mu$, більше реальної пропозиції благ Ω , зі знеціненням грошей пропорційно дефлятору ВВП P , $M1\mu = P\Omega$ при $P > 1$. Врівноважене центральним банком нестабільне саморегулювання рівноваги в реальному секторі описується системою рівнянь [5, 6]:

$$M1\mu = P\Omega ; P\Omega = P_{\text{дн}}\bar{\Omega} ; f_{\phi} = N_0 - N \text{ при } K_t > P_{t-1}K_{t-1}, N > N_0, \quad (25)$$

$$P > 1.$$

Таким станом характеризувались економіки високорозвинених країн і, в першу чергу, економіка США до кризи, що розпочалася в 2008 р.

Виробничий дефлятор при наявності безробіття завжди згідно з (22) більше одиниці. Тому при наявності безробіття відповідно до (17) і грошовому дефляторі, меншому одиниці, тобто при порушеній у зв'язку з грошовою дефляцією рівновазі на ринку грошей (9), можлива стабільна рівновага економіки (24), $P = P_{\text{дн}}P_{\text{пр}} \geq 1$, з незначною інфляцією. Стабільна рівновага економіки (24) з нульовою інфляцією, можлива при граничному грошовому дефляторі, рівному зворотній величині виробничого дефлятора (22),

$$\bar{P}_{\text{дн}} = (1 - \phi)^{1/\ln k_0}. \quad (26)$$

При розширеному відтворенні завантаженого у сфері виробництва капіталу, наявності безробіття і порушеній рівновазі на ринку грошей через грошову дефляцію з величиною грошового дефлятора, меншою одиниці і більшою граничного значення, $1 > P_{\text{дн}} > (1 - \phi)^{1/\ln k_0}$, забезпечується як завгодно довго саморегулювання рівноваги (24) з низьким зростанням реального ВВП, яке є депресією реального сектора економіки.

Головною проблемою світової економіки після кризи, що розпочалася в 2008 р. і переросла в глобальну фінансово-економічну кризу, є недостатній споживчий попит на ринку благ. Для прискорення виходу з кризи центральні банки провідних високорозвинених країн США (Федеральна резервна Система), Єврозони (Європейський Центральний Банк), Японії (Банк Японії), Англії (Банк Англії) з метою забезпечення рівня річної інфляції «не більше двох відсотків» втручалися на різних стадіях кризи в цей процес, викуповуючи активи з балансів банків і знижуючи процентні ставки до нуля. Вони відповіли на кризу різким накачуванням грошей в економіку своїх країн. Грошові бази центральних банків США, Англії, Європейського Союзу, Японії збільшилися протягом трьох років в 3–5 разів. Однак, політика нульових процентних ставок і різкого збільшення грошових баз не змогла підняти інфляцію до двох відсотків, в Єврозоні і Японії інфляція знаходиться на рівні 0,25% і йде в бік дефляції, зберігаючи стан депресії економіки.

За прогнозованою чисельністю населення T ; заданою ЦБ кількістю грошей в обігу $M1\mu$ і при відомих: матеріаломісткості виробництва σ і коефіцієнті працюючих у виробництві ξ , інвестиційному попиті виробництва $R_{\text{пр}}$, амортизації A і недоамортизації Δ можуть бути визначені в даному році при відомих в попередньому році: вартість наявного у

виробництві капіталу $K_{пр}$ згідно з (15), ринкова кон'юнктура \mathfrak{R}_p згідно з (16), кількість працюючих у сфері виробництва $\Pi_t = \mathfrak{R}_{pr} \Pi_{t-1}$, коефіцієнт завантаження капіталу у сфері виробництва $\nu_t = \nu_{t-1} \mathfrak{R}_{pr}$, вартість завантаженого у сфері виробництва капіталу $K = \nu K_{пр}$, реальний споживчий попит $\bar{\Omega} = \sigma K e^{-1}$, кількість працюючих в економіці $N = \Pi / \xi$, рівноважна кількість працюючих $N_0 = 0,46T$ в економіці і в виробництві $\Pi_0 = \xi N_0$, рівень безробіття φ відповідно до (18), коефіцієнт технології виробництва $1 / \ln k_0 = \ln(K / \Pi_0)^{-1}$, реальний ВВП Ω згідно з (20), зміна реального ВВП δ згідно з (14), виробничий дефлятор $P_{пр}$ згідно з (22), грошовий дефлятор $P_{дн}$ згідно з (6), дефлятор ВВП $P = P_{дн} P_{пр}$, номінальний ВВП згідно з (3), регульовані державою чисті інвестиції $J_{\dot{}}$ і недоамортизація капіталу Δ .

У табл. 1 наведено результати моделювання стану депресії реального сектора економіки України у 2013–2022 рр. за даними 2012 року [11].

Таблиця 1 – Моделювання стану депресії на прикладі економіки України

Показники	Вхідні відомості по роках				
	2013	2014	2015	2016	2017
Роки	2013	2014	2015	2016	2017
T , млн чол.	45,44	45,34	45,24	45,14	45,04
$M1\mu$, млн грн	1416000	1439000	1472000	1510000	1520000
	Результати моделювання по роках				
$K_{пр}$, млн грн	9545614	9691975	9802361	9878325	10028176
\mathfrak{R}_p	0,996	0,998	1,0117	1,0103	0,996
Π , млн чол.	13,666	13,638	13,797	13,939	13,883
ν	0,906	0,904	0,915	0,924	0,92
K , млн грн	8648449	8761545	8969160	9127572	9225922
N , млн чол.	18,088	18,185	18,397	18,585	18,511
N_0 , млн чол.	20,889	20,856	20,81	20,764	20,718
φ , %	13,41	12,8	11,59	10,49	10,65
k_0 , грн / чол.	552026	560129	574670	586115	593746
$1 / \ln k_0$	0,0756	0,0755	0,0754	0,0753	0,0752
Ω , млн грн	1405042	1433288	1471182	1498351	1514845
δ	0,000	0,0117	0,022	0,0179	0,0033
$P_{пр}$	1,0104	1,0104	1,0093	1,0084	1,0085
$P_{дн}$	0,998	0,994	0,991	0,999	0,995
P	1,0083	1,0043	1,00059	1,0077	1,0037
ω , млн грн	1416844	1439451	1472050	1509888	1520450
$J_{\dot{}}$, млн грн	110374	112519	115027	119426	119572
Δ , млн грн	43242	43808	44846	45638	46130

Продовження табл. 1

Показники	Вхідні відомості по роках				
	2018	2019	2020	2021	2022
Роки	2018	2019	2020	2021	2022
T , млн чол.	45,00	44,7	44,4	44,00	43,9
$M1\mu$, млн грн	1510000	1520000	1550000	1600000	1630000
	Результати моделювання по роках				
$K_{пр}$, млн грн	10198122	10296133	10431365	10545861	10690630
\mathfrak{R}_p	0,985	0,988	1,008	1,0167	1,009
Π , млн чол.	13,675	13,51	13,618	13,845	13,97
ν	0,906	0,895	0,902	0,917	0,925
K , млн грн	9185682	9215039	9409091	9670554	9888833
N , млн чол.	18,233	18,013	18,157	18,461	18,627
N_0 , млн чол.	20,7	20,562	20,424	20,24	20,194
φ , %	11,92	12,4	11,1	8,79	7,76
k_0 , грн / чол.	591670	597545	614251	637059	652922
$1/\ln k_0$	0,0752	0,0752	0,075	0,0748	0,0747
Ω , млн грн	1507022	1510097	1544552	1590453	1626921
δ	- 0,0088	0,000	0,0167	0,0258	0,0165
$P_{пр}$	1,0096	1,01	1,0089	1,0069	1,006
$P_{дн}$	0,993	0,996	0,995	0,9994	0,9957
P	1,0025	1,006	1,0038	1,0063	1,0017
ω , млн грн	1510790	1519258	1550426	1600473	1629687
$J_{ч}$, млн грн	118444	119531	121902	126684	128161
Δ , млн грн	45928	46075	47045	48353	49444

При моделюванні прийняті прогнозні значення чисельності населення по роках T (млн чол.) і задана Національним банком України кількість грошей в обігу $M1\mu$. Припущення, що склалися в попередні роки відповідно [12, 13]: коефіцієнт працюючих у виробництві $\xi = 0,75$, коефіцієнт $\sigma = 0,447$ матеріаломісткості, інвестиційний попит виробництва $R_{пр} = 0,2\omega$, амортизаційні відрахування $A = 0,02K$, чисті інвестиції $J_{ч} = 0,2(\omega - 0,1K)$, недоамортизація капіталу $\Delta = 0,005K$.

В результаті моделювання визначені макропоказники в 2013 р. вхідними даними і показниками 2012 року відповідно [12, 13]. І так далі визначені макропоказники у 2014–2022 рр. за вхідними відомостями і даними попереднього року. За результатами моделювання у таблиці 1, в 2013–2022 рр. при грошовому дефляторі, меншому одиниці і більшому зворотної величини виробничого дефлятора згідно з (26), $1 > P_{дн} > (1 - \varphi)^{1/\ln k_0}$, була можлива стабільна рівновага (24) реального сектора, $P \geq 1$, з ростом реального ВВП від 0,2% до 1,95%.

При розширеному відтворенні звантаженого у виробництві капіталу депресія реального сектора можлива як завгодно довго при регулюванні

центральним банком грошової дефляції. Для виходу з депресії і збільшення зростання реального ВВП необхідна кількість грошей в обороті з грошовим дефлятором, більшим одиниці. При грошовому дефляторі, меншому граничного, $P_{\text{дн}} < (1 - \varphi)^{1/\ln k_0}$, в реальному секторі відбувається дефляція і спад реального ВВП, на межі яких балансують економіки високорозвинених країн після початку кризи в 2008 р.

При нестабільній рівновазі (25) виробничий дефлятор згідно з (22) завжди менше одиниці, а грошовий дефлятор згідно з (23) завжди більше одиниці. Нестабільна рівновага (25) з нульовою інфляцією, $P=1$, можлива при граничному грошовому дефляторі, рівному зворотній величині виробничого дефлятора згідно з (26). При надмірній кількості працюючих, розширеному відтворенні завантаженого у сфері виробництва капіталу і грошовому дефляторі, більшому граничного, $P_{\text{дн}} > (1 - \varphi)^{1/\ln k_0}$, забезпечується як завгодно довго зростання реального ВВП. А при грошовому дефляторі, меншому граничного, $P_{\text{дн}} < (1 - \varphi)^{1/\ln k_0}$, відбувається дефляція і спад реального ВВП.

4. Забезпечення економічного зростання

Кон'юнктура споживчого попиту дорівнює добутку ринкової кон'юнктури \mathfrak{R}_p і кон'юнктури ризиків і стимулів \mathfrak{R}_{rs} [7, 8], $\mathfrak{R} = \mathfrak{R}_p \mathfrak{R}_{rs}$. Кон'юнктура ризиків і стимулів в році t визначається твором коефіцієнтів діючих факторів \mathfrak{N}_{it} $\mathfrak{R}_{rst} = \mathfrak{N}_{1t} \mathfrak{N}_{2t} \dots \mathfrak{N}_{vt}$ [11].

Причинами зміни кон'юнктури попиту є: обмеження ЦБ і фінансовим сектором кількості грошей в обігу, звужене відтворення реальним сектором завантаженого у сфері виробництва капіталу, зростання матеріаломісткості виробництва і фактори ризиків і стимулів.

У табл. 2 наведені на прикладі економіки України можливі макропоказники на 2018–2020 роки за даними статистики 2016 і 2017 років відповідно [14, 15] прогнозованої чисельності населення T і заданих НБУ величин кількості грошей в обігу $M1\mu$, кон'юнктури ризиків і стимулів $\mathfrak{R}_{rs} = 1$.

При моделюванні прийняті показники, що склалися в попередні роки [14, 15]: коефіцієнт працюючих у виробництві $\xi = 0,75$, інвестиційний попит виробництва $R_{\text{пр}} = 0,2\omega$, амортизаційні відрахування $A = 0,02K$, чисті інвестиції $J_{\text{ч}} = 0,2(\omega - 0,1K)$, матеріаломісткість $\sigma = 0,44$, недоамортизація капіталу $\Delta = 0,005K$. За результатами таблиці 2 при прийнятих вхідних відомостях по роках можливий спад реального ВВП з 2019 року у зв'язку з недостатніми інвестиціями у виробничий капітал. Відношення чистих інвестицій до номінального ВВП $J_{\text{ч}} / \omega$ в 2016–2020 рр. дорівнює дев'ять відсотків, чого недостатньо для відтворення виробничого капіталу.

Таблиця 2 – Можливі макропоказники економіки України на 2018–2020 роки

Показники	Вхідні відомості по роках					
	Роки	2016	2017	2018	2019	2020
Чисельність населення T , млн чол.		42,5	42,3	42,1	41,9	41,7
Кількість грошей в обігу $M1\mu$, млн грн		2 385 000	3 000 000	3 500 000	3 900 000	4 300 000
Результати моделювання по роках						
Виробничий капітал $K_{пр}$, млн грн		16 182499	19 154671	23 542511	27 055983	31 074603
Ринкова кон'юнктура \mathcal{R}_p		0,97	1,02	1,011	0,99	0,974
Працюючі у виробництві Π , млн чол.		11,01	11,23	11,354	11,24	10,95
Коефіцієнт загрузки капіталу ν		0,79	0,81	0,82	0,812	0,791
Працюючий капітал K , млн грн		12 784 174	15 515 284	19 304 859	21 969 458	24 576 531
Працюючі у економіці N , млн чол.		14,68	14,97	15,138	14,98	14,53
Рівноважна праця N_0 , млн чол.		19,55	19,458	19,37	19,274	19,182
Рівень безробіття φ , %		24,9	23,05	21,8	22,28	24,25
Реальний ВВП Ω , млн грн		2 031 592	2 463 151	3 070 796	3 494 021	3 902 125
Реальний попит $\bar{\Omega}$, млн грн		2 069 337	2 511 413	3 124 820	3 556 132	3 978 131
Зміна реального ВВП δ , %		2,38	3,5	2,36	- 0,2	0,000
Виробничий дефлятор $P_{пр}$		1,021	1,0196	1,0176	1,0178	1,0195
Грошовий дефлятор $P_{дн}$		1,15	1,195	1,12	1,097	1,081
Дефлятор ВВП P		1,174	1,218	1,14	1,116	1,102
Номінальний ВВП ω , млн грн		2 380 106	3 000 018	3 500 707	3 900 090	4 300 142
Чисті інвестиції J_q , млн грн		220 338	289 698	314 044	340 629	368 948
Недоамортизація капіталу Δ , млн грн		63 921	77 576	91 611	109 847	112 829
J_q / ω , %		9,26	9,57	8,97	8,73	8,58

Для забезпечення зростання реального ВВП у 2019–2022 роках на рівні 3% необхідно збільшити інвестиції у виробничий капітал, починаючи з 2018 р. При зростанні реального ВВП у 2019 р. на 3% отримуємо значення ринкової кон'юнктури $\mathcal{R}_p = 1,007$ і реального ВВП у 2019 році $\Omega = 3250334 \times 1.03 = 3347844$ млн грн.

Задане значення Ω дозволяє відрахувати рівноважну капіталоємність праці k_0 у 2019 році відповідно [6]:

$$\ln k_0 = \frac{1 + \ln \Omega - \ln \Pi_0 - \ln \sigma}{2} + \sqrt{\ln \Pi_0 - \ln \Pi + \frac{(1 + \ln \Omega - \ln \Pi_0 - \ln \sigma)^2}{4}},$$

та необхідну вартість працюючого капіталу $K = k_0 \Pi_0$.

Розрахунки наведені у табл. 3. Для забезпечення зростання реального ВВП у 2019 р. на 2,72% необхідні чисті інвестиції у виробничий капітал в 2018 р. у розмірі $J_{\text{ч}}=572\,067$ млн грн.

Таблиця 3 – Моделювання макропоказників економіки України на 2018–2022 роки

Показники	Вхідні відомості по роках				
	2 018	2 019	2 020	2021	2022
Роки	2 018	2 019	2 020	2021	2022
Чисельність населення T , млн чол.	42,1	41,9	41,7	41,5	41,3
Кількість грошей в обігу $M1\mu$, млн грн	3 500000	3 900000	4 300000	4 900000	5 500000
Результати моделювання по роках					
Виробничий капітал $K_{\text{пр}}$, млн грн	23 54 2 511	27 431 274	30 344 650	33 440 505	38 109 395
Ринкова кон'юнктура \mathcal{R}_p	1,011	1,007	1,007	1,000	1,000
Працюючі у виробництві Π , млн чол.	11,354	11,433	11,49	11,49	11,49
Коефіцієнт загрузки капіталу ν	0,82	0,826	0,83	0,83	0,83
Працюючий капітал K , млн грн	19 304 859	22 658 233	25 223 347	27 755 619	31 630798
Працюючі у економіці N , млн чол.	15,138	15,244	15,32	15,32	15,32
Рівноважна капіталоемкість праці k_0 ,	1 328 849	1 559 679	1 753 265	1 939 596	2 219 938
Рівень безробіття φ , %	21,8	20,9	20,13	19,75	19,37
Реальний ВВП Ω , млн грн	3 070 796	3 605 728	4 016 874	4 426 997	5 047 706
Реальний попит $\bar{\Omega}$, млн грн	3 124 820	3 667622	4 082 829	4 492720	5 119 984
Зміна реального ВВП δ , %	2,36	3,06	3,00	3,00	3,00
Виробничий дефлятор $P_{\text{пр}}$	1,0176	1,0171	1,0164	1,0148	1,0143
Грошовий дефлятор $P_{\text{дн}}$	1,12	1,063	1,053	1,0906	1,074
Дефлятор ВВП P	1,14	1,0815	1,07	1,107	1,0895
Номинальний ВВП ω , млн грн	3 500 707	3 899 595	4 298 055	4 900 686	5 499 476
Чисті інвестиції $J_{\text{ч}}$, млн грн	684 422	791 018	1 097 846	1 229 534	1 374 869
Недоамортизація капіталу Δ , млн грн	96 524	113 291	126117	138 778	148 503
$J_{\text{ч}} / \omega$, %	19,55	20,28	25,54	25,09	25,00

А зростання на 2,95% реального ВВП у 2020 р. потребує чистих інвестицій у виробничий капітал в 2019 р. у розмірі $J_{\pm} = 791018$ млн грн. В 2020 р. розмір чистих інвестицій у виробничий капітал $J_{\pm} = 829\,379$ млн грн забезпечить зростання реального ВВП у 2021 р. на 3%. Зростання реального ВВП у 2022 р. на 3% потребує чисті інвестиції у виробничий капітал в 2021 р. у розмірі $J_{\pm} = 1147401$ млн грн. В таблиці 2 і таблиці 3 наведені значення відношення J_{\pm} / ω чистих інвестицій до номінального ВВП. Для стабільного зростання реального ВВП на рівні 3% необхідно збільшити чисті інвестиції, наведені в таблиці 2, у 2,5 рази, тобто прийняти інвестиції у сферу виробництва $R_{\tau, \delta} = 0,5\omega$ і амортизаційні відрахування $\dot{A} = 0,05\dot{E}$. Норма амортизації працюючого у виробництві капіталу $\theta = 0,05$ відповідає циклу Кузнеця відтворення основного капіталу в двадцять років [11].

Висновки

1. Кейнсіанський підхід ринкового балансування базується на коригуванні споживчого попиту з метою досягнення повної зайнятості населення у виробництві. Концепція «нової кейнсіанської моделі» базується на стабілізації цін для отримання потенційного обсягу виробництва. Усі існуючі моделі ринкового балансування базуються на застосуванні емпіричної кривої Філіпса, тому отримані результати аналізу і прогнозування розвитку економіки є помилковими і недостовірними.

2. В авторській моделі ДННУ «Академія фінансового управління» рівновага економіки, тобто зростання реального ВВП, досягається за рахунок розширеного відтворення виробничого капіталу, який враховується національними рахунками, та за рахунок регулювання центральним банком кількості грошей в обігу, а ринкова рівновага досягається за рахунок саморегулювання інфляції.

3. Збільшення капіталу, завантаженого у виробництві, викликає зростання попиту на працю, зменшення безробіття та інфляції, підвищення виробництва благ, зростання кількості грошей в обігу.

4. При розширеному відтворенні завантаженого у сфері виробництва капіталу, наявності безробіття і порушеній рівновазі на ринку грошей через грошову дефляцію з величиною грошового дефлятора, меншою одиниці і більшою зворотної величини виробничого дефлятора, забезпечується як завгодно довге саморегулювання ринкової рівноваги з низьким зростанням реального ВВП, яке є депресією реального сектора економіки.

5. При недостачі чистих інвестицій у виробництво неможливе забезпечення необхідного відтворення виробничого капіталу для стабільного зростання ВВП. Для стабільного зростання реального ВВП в Україні на рівні 3% необхідні, починаючи з 2018 року, інвестиції у сферу виробництва з року в рік в обсязі 50% валового внутрішнього продукту, у тому числі чисті інвестиції в обсязі 25% валового внутрішнього продукту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Швець С.М. Короткострокове прогнозування валової доданої вартості: монографія / С.М. Швець; НАН України, ДУ "Ін-т екон. та прогноз. НАН України". – К., 2013. – 136 с.
2. Fukač M., Pagan A. Issues in Adopting DSGE Models for Use in the Policy Process [Електронний ресурс] / М. Fukač // Centre for Applied Macroeconomic Analysis, Working Paper. – 2006. – № 10. – 35 с. – Доступний з: <http://www.cnb.cz/en/research/research_publications/cnb_wp/download/cnbwp_2006_06.pdf>.
3. Vroey M., Duarte P. 2012. In Search Of Lost Time: The Neoclassical Synthesis Discussion Papers [Електронний ресурс] / М. Vroey // IRES - Institut de Recherches Economiques et Sociales, Working Papers, Department of Economics. – July 2012. – 32 с. – Доступний з: <<http://www.fea.usp.br/feaecon/RePEc/documentos/PedroDuarteN07WP.pdf>>.
4. Vlcek J., Roger S. Macrofinancial Modeling at Central Banks : Recent Developments and Future Directions [Електронний ресурс] / J. Vlcek // IMF Working Papers. – January 2012. – № 12/21. – 39 с. – Доступний з: <<http://www.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2012/09588.pdf>>.
5. Дунаев Б.Б. Безынфляционный потребительский спрос // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – № 4. – С. 103–117.
6. Дунаев Б.Б. Благополучие – труд, капитал и деньги: Основы теории воспроизводства. 2-е изд. доп. – К.: Интердрук, 2013. – 231 с.
7. Дунаев Б.Б. Динамика благополучия населения страны // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – № 2. – С. 151–163.
8. Дунаев Б.Б. Функция темпа роста ставки заработной платы от уровня безработицы // Кибернетика и системный анализ. – 2011. – № 5. – С. 140–149.
9. Панасюк Б., Сергиенко И., Гуляницкий Л. Прогнозирование развития экономики Украины // Экономика Украины. – 1996. – № 1. – С. 20–31.
10. Сакс Д., Ларрен Ф. Макроэкономика. Глобальный подход: Пер. с англ. – М.: ДЕЛО, 1999. – 848 с.
11. Дунаев Б.Б. Динамика экономических циклов // Кибернетика и системный анализ. – 2017. № 2. – С. 146–162.
12. Бюлетень Національного банку України № 4 / 2015 (265).
13. URL: https://ukrstat.org/operativ/operativ2013/ibd/nsoz/nsoz13_r.htm
Ukrstat.org – публікація документів Державної служби статистики України.
14. URL: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2017/02/weodata/index.aspx>.
15. URL: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2018/02/weodata/index.aspx>

Стаття надійшла до редакції 19.03.2018.

УДК 004.942 ; 626/627 ; 504.05

Ю.С. ВЛАСЮК, Д.В. СТЕФАНИШИН

ПРО ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

***Анотація.** Висвітлено та проаналізовано ключові соціально-екологічні та економіко-правові проблеми вітчизняної малої гідроенергетики. Оцінено її перспективи у світлі реалізації чинної Енергетичної стратегії України, де серед основних пріоритетів виділено розвиток відновлюваної енергетики як однієї з умов модернізації енергетичної галузі країни та успішної інтеграції її об'єднаної енергосистеми (ОЕС) з ОЕС Європейського Союзу. Відмічено фактори, які поряд з тим, що сприяють інвестиційній привабливості малої гідроенергетики в країні, можуть призводити до екологічно-конфліктних ситуацій. Сформульовано практичні рекомендації, направлені на мінімізацію негативних впливів малих гідроелектростанцій (МГЕС) на навколишнє середовище та забезпечення сталого розвитку прирічкових територій.*

***Ключові слова:** відновлювана енергетика, мала гідроенергетика, навколишнє середовище*

Вступ

Згідно із Енергетичною стратегією України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», основні положення якої були сформульовані ще в 2006 р., уточнені в 2013 р., і яка була схвалена в теперішньому вигляді в 2017 р. [1], однією із основних задач забезпечення сталого розвитку електроенергетики країни та успішної інтеграції її ОЕС з ОЕС Європейського Союзу (ЄС) є розвиток відновлюваної енергетики.

Після приєднання в 2010 р. до Європейського Енергетичного співтовариства (ЄЕС) Україна взяла на себе зобов'язання у відповідності до рішення Ради Міністрів ЄС D/2012/04/МС-ЕпС досягти до 2020 р. 11% частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел в кінцевому енергоспоживанні. Крім того, Україна має відповідати вимогам Директиви 2001/80/ЄС (а в майбутньому й Директиві 2010/75/EU) про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин в повітря від великих спалювальних установок. Ці та інші Директиви ЄС мають за мету розвиток енергозберігаючих технологій та використання відновлюваних джерел енергії, що, втім, має бути стратегічно продуманим та не створювати додаткового навантаження на довкілля [2].

Країни-учасниці ЄЕС мають право розвивати власні національні стратегії щодо енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії, які вони вважають найбільш доцільними й прийнятними. В Україні серед найбільш перспективних джерел відновлюваної енергетики, згідно з Енергетичною стратегією [1], виділено розвиток гідроенергетики (ГЕС, ГАЕС), сонячної і вітрової енергетики (СЕС і ВЕС) (табл. 1). Для їх стимулювання в країні запроваджено ряд економіко-правових механізмів, серед яких, зокрема, застосування «зеленого» тарифу та деякі послаблення в податковій та митній сферах [2].

Таблиця 1 – Заплановані прогностичні потужності (в МВт) відновлюваної енергетики в Україні до 2020 р. [2]

Об'єкти електрогенерації	Роки введення		
	2015	2018	2020
Гідроелектростанції (ГЕС) до 1 МВт	33	47	55
ГЕС від 1 до 10 МВт	65	80	95
ГЕС і гідроаккумуляційні станції (ГАЕС) понад 10 МВт	4800	5040	5200
Геотермальні станції	11	30	500
Сонячні електростанції (СЕС)	1140	2100	2800
Вітрові електростанції (ВЕС)	1000	2100	3000
Енергія з твердої біомаси	80	285	400
Енергія з біогазу	30	70	130

У сфері гідроенергетики відповідні преференції для стимулювання розвитку в контексті відновлюваної енергетики в Україні отримала так звана «мала гідроенергетика» – малі гідроелектростанції (МГЕС). Цим терміном прийнято називати гідроенергетичні установки малої потужності (до 10–30 МВт) [3–5]. В Україні, як і в більшості країн світу [4, 5], до МГЕС відносять ГЕС потужністю до 10 МВт. Серед них гідроустановки зі встановленою потужністю до 0,2 МВт прийнято виділяти в категорію мікро ГЕС, до 1 МВт – міні ГЕС, від 1 до 10 МВт – власне малих ГЕС.

При цьому, хоча в Директивах ЄС і визнається, що гідроенергетика використовує відновлюване джерело енергії та сприяє енергобереженню, водночас і підкреслюється, що гідрогенерація може мати значний негативний вплив на довкілля, водні екосистеми та екопослуги, як на локальному, так і на басейновому рівні. Підкреслюється, що різного роду екологічні заходи, пом'якшуючі та компенсаційні, які в обов'язковому порядку мають впроваджуватися в гідроенергетичних проектах, не завжди забезпечують збереження біорізноманіття на належному рівні. Вказується, що розвиток гідроенергетики, як потенційно небезпечної для навколишнього середовища технології електрогенерації, має обмежуватися і відбуватися лише за умови вироблення прозорої і збалансованої державної політики, узгодженої з екологічним національним та міжнародним законодавством [6].

1. Мала гідроенергетика у світі та в Україні

Гідроенергетика є надійним і технологічно найбільш освоєним способом електрогенерації з відновлюваних джерел енергії. Характеризується високою ефективністю процесу перетворення наявних гідроенергетичних ресурсів в електроенергію (коефіцієнт корисної дії сягає 0,7...0,9 і вище) – недосяжною для багатьох інших технологій, та високою маневреністю [7].

Малу гідроенергетику не можна називати нетрадиційною енергетикою. Перші ГЕС, що будувалися в світі, були малими. Наразі накопичено більш ніж віковий досвід експлуатації гідроустановок малої потужності.

До важливих переваг МГЕС, в порівнянні з ГЕС більшої потужності, відносяться: порівняно невеликий об'єм інвестицій і більш короткий термін будівництва, що дозволяє прискорити отримання прибутку приватними інвесторами; можливість використовувати гідропотенціал численних малих

рік та приток; близькість до індивідуального споживача, який водночас може бути і власником МГЕС; можливість забезпечення електропостачання віддалених від загальних електромереж поселень [5, 7].

Натепер мала гідроенергетика має досить широке поширення у світі. Серед лідерів світової малої гідроенергетики (дані на 2007 р.) такі високорозвинені країни, як Австрія – 1,1 млн кВт встановленої потужності, Франція – 2,1 млн кВт, Німеччина – 1,6 млн кВт, Норвегія – 1,4 млн кВт, Іспанія – 1,8 млн кВт, Швейцарія – 0,8 млн кВт, Японія – 3,5 млн кВт, Канада – 2 млн кВт. Безумовним світовим лідером у використанні малої гідроенергетики є Китай, де потужність МГЕС на 2007 р. склала біля 35 млн кВт з річним виробленням до 110 млрд кВт·год електроенергії [5, 7].

Сумарна потужність малої гідроенергетики у світі на сьогодні перевищує 70 ГВт [5]. За її рахунок світова електроенергетика отримує майже 220 ТВт·год/рік електроенергії з відновлюваного джерела. Частка електроенергії, яка виробляється на МГЕС, від загального виробництва електроенергії на всіх ГЕС, в Японії становить біля 23,4%; в Чехії і Словаччині – 12,6%; в Китаї – 8,3%; Австрії – 6,5%. Значною вона є і в Україні – близько 5% [5]. Втім, на відміну від більшості розвинених країн світу, де, починаючи зі введення в експлуатацію перших гідроустановок і до цього часу, мала гідроенергетика достатньо стабільно розвивалась, в Україні, у своєму історичному розвитку, вона мала як злети, так і падіння.

Перша МГЕС на території України з'явилась ще в 1912 р. (Тивровська ГЕС на р. Південний Буг). До введення в експлуатацію в 1932 р. Дніпровської ГЕС потужністю 640 МВт, на території України вже діяло більше 80 МГЕС, однак їх загальна потужність складала лише біля 4 МВт [5].

Масове будівництво МГЕС в Україні, більшість з яких мали потужність 5–25 кВт, розпочалося вже після другої світової війни. Переважно вони споруджувалися в сільській місцевості, при побудованих раніше греблях і млинах. В 50-х роках почали будуватися і більш потужні МГЕС. В цей період, зокрема, були побудовані Ладизинська і Глибочанська ГЕС (рис. 1) на р. Південний Буг потужністю 7,5 і 6,13 МВт, відповідно. На початок 60-х років минулого століття в країні вже налічувалося близько 956 МГЕС загальною встановленою потужністю біля 30 МВт [8].



Рисунок 1 – Гідроспоруди Ладизинської (а) та Глибочанської (б) МГЕС на р. Південний Буг

Однак, в 70-х роках, через малу ефективність в порівнянні з потужними ГЕС, ТЕС і АЕС, мала гідроенергетика в Україні почала занепадати [5, 9]. Велику кількість МГЕС було виведено з експлуатації, деякі з них – навіть без належної консервації. До кінця 80-х років в країні збереглися лише 49 МГЕС, більшість з яких на той час вже напрацювали значний експлуатаційний ресурс (35–70 років). Гідроспоруди потребували капітального ремонту або реконструкції, а обладнання – заміни й оновлення [5].

Відновлення малої гідроенергетики в країні розпочалося на початку 90-х років [5, 9], спочатку силами ентузіастів, активізувавшись з середини 90-х років після запровадження задля стимулювання розвитку відновлюваної енергетики та залучення в цей сектор приватних інвестицій так званого «зеленого» тарифу [10–12]. В табл. 2 наведено дані щодо динаміки введення в експлуатацію МГЕС в країні в 2009–2014 рр.

Таблиця 2 – Динаміка введення в експлуатацію об’єктів вітчизняної малої гідроенергетики в 2009–2014 рр. [12]

Показник	Роки					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Встановлена потужність, МВт	49,2	62,6	70,8	73,5	75,3	79
Виробіток, млн кВт·год/рік	29,7	192,5	203,4	171,9	286,0	230
Кількість МГЕС	46	60	72	80	90	98

Станом на 2014 р. в Україні частка встановленої потужності на МГЕС складала 8,3% від встановленої потужності всіх об’єктів відновлюваної енергетики, частка у виробництві відновлюваної електроенергії – 12,5%. На початок 2017 р. встановлена потужність МГЕС в Україні досягла 93 МВт [13] (7,5% від встановленої потужності всіх об’єктів відновлюваної енергетики).

Однак, відновлення малої гідроенергетики в країні було стихійним і не супроводжувалось науковими та технічними дослідженнями малих річок, аналізом впливу МГЕС, що вже експлуатувалися, на довкілля. Зокрема, після 1960 р. на території України повноцінне уточнення гідроенергетичного потенціалу малих та середніх річок так і не проводилось [9–12, 14–16].

Зі вводом нових МГЕС в країні почав зростати і спротив їх будівництву – серед екологів, активістів та місцевих общин. Втім, незважаючи на негативний суспільний резонанс навколо вітчизняної гідроенергетики в цілому, в тому числі і малої, та прискорений розвиток в країні в останні роки сонячної і вітрової електроенергетики через різке зменшення питомих затрат на одиницю встановленої потужності на СЕС і ВЕС, мала гідроенергетика все ще цікавить приватних інвесторів – як вітчизняних, так і зарубіжних.

2. Оцінка поточної ситуації у вітчизняній малій гідроенергетиці в умовах дії «зеленого» тарифу

Стабільне нарощування в останні роки потужностей малої гідроенергетики в Україні в першу чергу пов’язують з запровадженням «зеленого» тарифу (табл. 3). Мають місце і деякі специфічні особливості його застосування в галузі, які теж приваблюють приватних інвесторів.

Таблиця 3 – Коефіцієнти «зеленого тарифу в малій гідроенергетиці [17]

Об'єкт	Коефіцієнт «зеленого» тарифу* для об'єктів, введених в експлуатацію				
	до 31.03.13	01.04.13-31.12.14	01.01.15-31.12.19	01.01.20-31.12.24	01.01.25-31.12.29
Мікро ГЕС потужністю не більше 200 кВт	1,20	2,00	1,80	1,60	1,40
Міні ГЕС потужністю від 200 кВт до 1 МВт	1,20	1,60	1,44	1,28	1,12
Малі ГЕС потужністю 1–10 МВт	1,20	1,20	1,08	0,96	0,84

* «Зелений» тариф для суб'єктів господарювання, які експлуатують МГЕС, встановлюється на рівні роздрібного тарифу для споживачів другого класу напруги на січень 2009 р., визначеного із урахуванням тарифного коефіцієнта, що застосовується для пікового періоду часу (для тризонної тарифної класифікації), помноженого на відповідний коефіцієнт «зеленого» тарифу, і переглядається щомісяця з урахуванням офіційного курсу гривні до євро.

Так, згідно з чинним законодавством [17], «зелений» тариф повинен у своїй структурі передбачати місцеву складову (в сонячній і вітровій енергетиці ця вимога не поширюється лише на генеруючі установки приватних домогосподарств), що являє собою частину вартості послуг та матеріалів українського походження. Ця вимога, однак, не стосується і малої гідроенергетики. Тому, наприклад (див. табл. 4), навіть техніко-економічне обґрунтування, проект, обладнання і устаткування (сукупна їх вартість може складати до 50% і більше від усіх витрат [4, 18]), будівельні та інші матеріали тощо в малій гідроенергетиці можуть мати іноземне походження.

Таблиця 4 – Відносна доля затрат в загальній вартості МГЕС [4]

Види затрат	Доля, у %
Підготовчі роботи й будівництво	40–70
Гідромеханічне обладнання	1–2
Електротехнічне і гідроенергетичне устаткування	20–40
Під'єднання до електромережі	до 20
Інші (вишукування, проект тощо)	5–10

Втім, причини інвестиційної привабливості малої гідроенергетики в країні можуть пояснюватися не тільки «зеленим» тарифом та особливостями його обрахування для МГЕС.

Одна з важливих причин може полягати в тому, що як інженерні об'єкти, малі ГЕС є досить простими за конструкціями, оснащенням і можуть бути повністю автоматизованими (не вимагають обов'язкової присутності людини при експлуатації). Вироблений ними електричний струм відповідає стандартним вимогам за частотою й напругою. Малі ГЕС можуть працювати як в автономному режимі – для індивідуального споживача, так і в складі ОЕС, виробляючи найбільш вартісну електроенергію в моменти пікового навантаження. При цьому повний ресурс роботи МГЕС може сягати 75 і більше років при досить прийнятних, в порівнянні з альтернативними

технологіями, специфічних інвестиціях (табл. 5), незначних експлуатаційних витратах, при повній окупності інвестицій (за умови дії «зеленого» тарифу) протягом 4–5 років та рентабельності до 30% і більше.

Таблиця 5 – Специфічні* інвестиції у відновлюваній енергетиці [19]

Об'єкти відновлюваної енергетики	Специфічні інвестиції, євро/кВт	Термін використання, роки
ГЕС	1770	75
Вітросилова установка	880	40
Біомасова блочна ТЕЦ (лігноцелюлоза)	690	45
Біогазова блочна ТЕЦ (рідкий гній тощо)	2080	45
Фотогальванічні установки (сонячна енергія)	3850	30
Геотермальна електростанція	4230	40
Біомасовий опалювальний котел (лігноцелюлоза)	60	45
Сонячні теплові установки (сонячна енергія)	1080	30

* Специфічним називається ресурс, який в разі переривання угоди не може бути використаний в інших проєктах без шкоди для своєї економічної цінності.

Більш прозаїчною, але, тим не менш, важливою причиною, є й те, що наразі, в Україні, навіть МГЕС, які було відновлено чи побудовано без належних інженерних вишукувань та водноенергетичних обґрунтувань, з практично декласифікованими (рис. 2), виконаними з грубими порушеннями чинних будівельних норм гідроспорудами, приносять прибутки їх власникам.

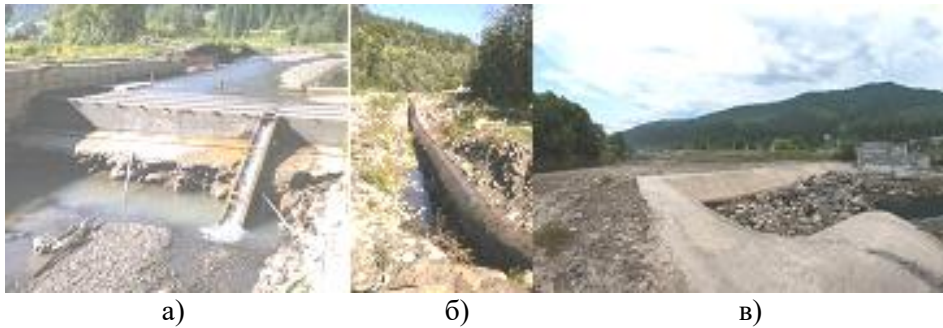


Рисунок 2 – Приклади недбалого виконання гідроспоруд МГЕС в Україні: а) головна водозабірна споруда з так званим «рибоходом» (Пробійнівська ГЕС-2, фото О. Василюка); б) «дериваційний тракт» МГЕС; в) гідроспоруди Яблунецької МГЕС (фото Черемош-Фест)

Порушення та зловживання у вітчизняній малій гідроенергетиці носять вже масовий характер. Приватні інвестори, особливо вітчизняні, в погоні за прибутком не зважають ні на чинні будівельні норми, ні на соціально-екологічні наслідки своїх рішень, часто виходять за межі не лише дозволеного, а й розумного, повністю спотворюючи малі річки (рис. 2, 3), завдаючи значної і непоправної шкоди не лише їх екології, а й законним інтересам місцевого населення. При цьому нерідко власники МГЕС перекручують факти, йдуть на свідомий обман населення, використовують грубі підтасовки в оцінках впливу на навколишнє середовище.



Рисунок 3 – Стан нижніх б'єфів «найсучасніших» МГЕС в Україні:
а) МГЕС в с. Нижній Бистрий (фото О. Станкевич-Волосянчук);
б) Чижівська МГЕС на р. Случ

Особливо насторожує в цій ситуації те, що прикладів негативних висновків державної екологічної експертизи проектів МГЕС, про які б повідомляли в пресі чи в наукових публікаціях, не було [20], або ж вони нам невідомі. В той же час є приклади відверто не фахової державної експертизи проектів МГЕС, про які нам добре відомо [21]. Шкідливою є і популяризація думок, в тому числі і серед науковців [7, 10, 11, 14–16, 22–24], що через малі розміри гідроспоруд (згідно з загальноприйнятими уявленнями, що від малого не може бути великої шкоди) МГЕС не можуть спричинювати значний вплив на довкілля. В цілому, все це призвело до того, що деякі з МГЕС були так запроектовані й побудовані, і експлуатуються вони в таких режимах, щоб заподіяти максимально можливої шкоди річці, її екології, стану прирічкових територій та життєдіяльності місцевого населення.

3. Умови та особливості розвитку малої гідроенергетики в Україні

У світі, МГЕС, в основному, мають цілеспрямоване гідроенергетичне призначення, будуються на малих ріках і, переважно, в гірській, важкодоступній, малозаселеній місцевості. Більшість МГЕС в Україні побудовано при водосховищах комплексного призначення, які мають значні об'єми та площі водної акваторії (табл. 6), на рівнинних ріках – як на малих, середніх¹, так і на великих, прирічкові території яких заселені, можуть використовуватись в сільському господарстві тощо. Зокрема, в басейні Південного Бугу, що відноситься до великих рік, створено найбільший в країні каскад МГЕС (на 2010 рік – з 24 МГЕС, де 11 МГЕС, з врахуванням Олександрівської ГЕС, розміщено на р. Південний Буг).

Великі об'єми води, зосереджені у цих водосховищах, не лише створюють значний ризик можливих техногенних аварій від руйнування напірних гідроспоруд [26], через що їх, відповідно, зокрема і будівлі МГЕС, слід розглядати як потенційно небезпечні об'єкти [27]. Вплив цих об'єктів на навколишнє середовище є значним і з екологічної точки зору.

¹ Згідно з класифікацією Водного кодексу України [25] до малих рік відносяться ріки, які мають площу сточища менше 2 тис. км², середніх – 2-50 тис. км², відповідно.

Таблиця 6 – Приклади вітчизняних МГЕС, розміщених на водосховищах об'ємом більше 1 млн м³*, розташованих на рівнинних ріках

Найменування МГЕС	Ріка	Параметри водосховища		Встановлена потужність ГЕС N, МВт	S / N, км ² / МВт
		Об'єм, млн м ³	Площа акваторії S, км ²		
Червонооскільська	Оскіл	477,0	122,0	3,68	33,152
Ладизинська	П. Буг	148,1	22,3	7,5	2,973
Олександрівська	П. Буг	114,0	12,0	9,8	1,224
Щедрівська	П. Буг	30,1	13,3	0,64	20,781
Хрінницька	Стир	22,2	16,3	0,9	18,111
Касперівська	Серет	18,6	2,86	5,1	0,561
Стеблівська	Рось	15,7	6,38	2,85	2,239
Новоархангельська	Синюха	14,8	4,57	1,3	3,515
Тернівська	Синюха	12,2	4,00	1,95	2,051
Гайворонська	П. Буг	11,3	4,96	6,18	0,803
Дмитренківська	Соб	11,1	3,85	0,51	7,549
Глибочанська	П. Буг	10,7	3,38	6,13	0,551
Сабарівська	П. Буг	8,6	2,9	1,05	2,762
Мислятинська	Горинь	6,3	3,02	0,64	4,719
Мартинківська	Збруч	5,63	1,84	0,6	3,067
Корсунь-Шевченківська	Рось	3,75	1,7	1,6	1,063
Юрпільська	Гірський Тікич	3,45	1,39	0,55	2,527
Брацлавська	П. Буг	3,3	1,1	0,4	2,750
Ніверківська	Збруч	3,2	1,32	0,8	1,650
Новокостянтинівська	П. Буг	2,65	2,54	0,525	4,838
Шишацька	Псел	2,5	1,36	0,525	2,590
Кунцівська	Ворскла	1,7	1,01	0,4	2,525
Коржівська	Случ	1,18	0,63	0,32	1,969

* Згідно з класифікацією Міжнародної комісії з великих гребель (ICOLD) [28] напірні гідроспоруди, які створюють водосховища об'ємом 1 млн м³ і більше, мають відноситися до великих гребель.

Хоча, за оцінками, в межах України нараховується понад 63 тис. лише малих річок, загальною довжиною понад 135,8 тис. км, як малі, так і середні ріки, що протікають її територією, характеризуються незначним сукупним гідропотенціалом, незважаючи на їх досить велику кількість. З них близько 60 тис. (майже 95%) водотоків мають довжину меншу ніж 10 км [5] і перебувають під загрозою деградації та зникнення.

Малі і середні річки, що протікають територією України, мають порівняно невелику водність і характеризуються суттєвою нерівномірністю стоку (до 70% і більше їх стоку припадає на короткі періоди паводків та поводей). Тому для стабільної роботи МГЕС важко обійтись без спорудження водосховищ. Загальне падіння річок, яке також визначає гідропотенціал, теж не є сприятливим. Наприклад, для малих і середніх річок басейну Дніпра воно не перевищує 50–70 м, Південного Бугу – 100–150 м (р. Ятрань). Деякі більшим загальним падінням характеризуються річки Українських Карпат,

наприклад, Стрий – 480 м (с. Климець – смт. Гніздичів), Тересва – 321 м (сmt. Усть Чорна – смт. Тересва), однак і ці значення можуть порівнюватися з напорами окремих ГЕС Австрії, Франції, Швейцарії, Норвегії.

Через незначні перепади рівнинних рік більшість вітчизняних МГЕС відносяться до руслового і змішаного (дериваційно-руслового) типів і мають незначні напори (зазвичай 3–5 м, інколи до 10 м). Деяко більшими напорами, але все ж таки відносно меншими в порівнянні з зарубіжними аналогами МГЕС на гірських річках, характеризуються кілька МГЕС дериваційного типу, які було споруджено на річках Українських Карпат.

На рис. 4 наведено дані для порівняння відношення площ водосховищ до встановленої потужності вітчизняних великих і малих ГЕС, розташованих на рівнинних ріках, в залежності від встановленої потужності. В цілому, таке порівняння не на користь МГЕС. На одиницю встановленої потужності вітчизняні МГЕС є більш ресурсоємними, ніж великі ГЕС, і, відповідно, можуть завдавати відносно більшої некомпенсованої шкоди довкіллю.

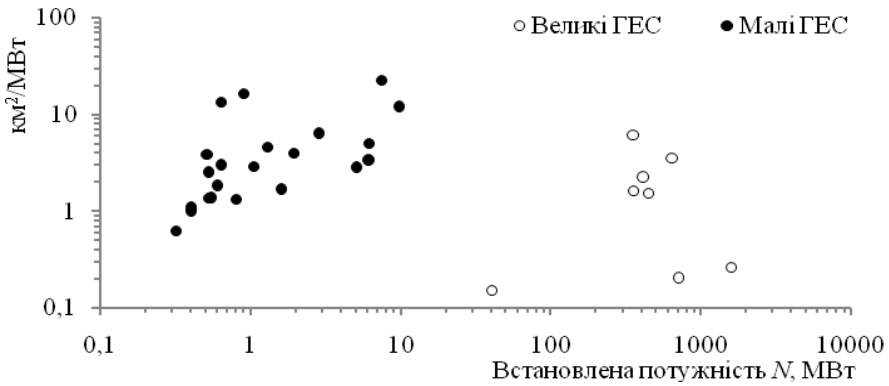


Рисунок 4 – Порівняння відношення площ водосховищ до встановленої потужності вітчизняних великих [29] і малих ГЕС (табл. 6), розташованих на рівнинних ріках, в залежності від встановленої потужності

На сьогодні мала гідроенергетика України, незважаючи на значну підтримку в державних структурах, має незначну питому вагу (близько 0,15% [24]) в загальному енергобалансі країни і принципово не може впливати на умови енергозабезпечення країни, в тому числі і окремих її регіонів.

Втім, згідно з перспективним планом розвитку малої гідроенергетики до 2030 р., розглядається можливість будівництва в країні ще понад 1000 МГЕС. В результаті сотні малих рік, якщо не більше, можуть серйозно постраждати, як і інтереси місцевих сільських громад, життєдіяльність яких пов'язується з малими ріками та їх заплавами [30]. При цьому на долю малої гідроенергетики [11] припадатиме лише трохи більше 3% від загальних потужностей гідрогенерації електроенергії в країні. Навряд чи це збільшить і питому вагу МГЕС в енергобалансі країни. Вона може навіть зменшитися, якщо зважати на перспективи розвитку альтернативної вітрової і сонячної електроенергетики та біоенергетики. В умовах України остання здатна особливо успішно конкурувати з малою гідроенергетикою на місцевому рівні [31]. Тому закономірно ставити питання про те, наскільки виправданим, в порівнянні з можливими викликами та негативними соціально-екологічними наслідками, може бути масове будівництво МГЕС в країні.

Висновки

Гідропотенціал малої гідроенергетики в Україні незначний, тому його використання не може розглядатися як один із стратегічних напрямків розвитку відновлюваної енергетики в країні. Тим більше, що з часом потенціал малої гідроенергетики, через деградацію і масове зникнення з карти країни малих рік, лише зменшуватиметься.

За рахунок малої гідроенергетики можуть вирішуватися лише деякі місцеві проблеми, пов'язані не стільки з електропостачанням, скільки з раціональним використанням водних ресурсів. При цьому, незважаючи на відносно невеликі розміри, розрахункові напори тощо, гідроспоруди МГЕС, особливо на рівнинних річках, слід розглядати як потенційно небезпечні об'єкти, аварії на яких можуть загрожувати життю і здоров'ю людей. В процесі експлуатації МГЕС можуть здійснювати і значний негативний вплив на екологію річок, довкілля, життєдіяльність місцевого населення.

Приватний капітал має право здійснювати вигідні для себе інвестиції в малу гідроенергетику, як і в будь-яку іншу сферу діяльності. Однак мала гідроенергетика не може розвиватися лише в інтересах приватного капіталу [30]. Якщо об'єкт малої гідроенергетики може бути рентабельним лише за умов «зеленого» тарифу, то, враховуючи практично вичерпані інноваційні можливості гідроенергетики, її обмежений потенціал, приватний інвестор повинен обґрунтувати це право відповідними природоохоронними заходами, заходами, направленними на підвищення надійності і безпеки гідроспоруд, на забезпечення умов раціонального використання природних ресурсів.

«Зелений» тариф в малій гідроенергетиці має розглядатися лише з точки зору компенсації затрат, пов'язаних з особливостями (складнощами тощо) відновлення і ремонту пошкоджених гідроспоруд, затрат на побудову захисних споруд (дамб обвалування для захисту територій від затоплення, дренажів для недопущення підтоплень тощо), природоохоронних споруд та пристроїв (рибоходів тощо), споруд та пристроїв (зокрема механічного устаткування – затворів, підйомних механізмів), що сприяють екологізації функціонування МГЕС та водогосподарчого комплексу (ВГК) в цілому, забезпечують умови екологічного стоку та толерантні для довкілля та інтересів місцевого населення режими експлуатації водосховищ. Затрати на придбання гідроенергетичного та електротехнічного обладнання, систем автоматизації і комп'ютеризації, на підключення до загальної електромережі тощо, на нашу думку, не можуть розглядатися в контексті «зеленого» тарифу.

У випадках відновлення МГЕС або влаштування МГЕС у складі вже діючих напірних гідроспоруд, ліквідація яких в інтересах народного господарства або з інших причин наразі є невиправданою, «зелений» тариф має надаватися лише за умов збереження основних технічних параметрів гідроспоруд та водосховищ, збереження усталених режимів їх експлуатації. Поряд з цим має забезпечуватися принцип комплексного використання водних ресурсів в інтересах різних учасників ВГК (рекреація, туризм, риборозведення, водопостачання та ін.) на умовах досягнення компромісних рішень, які, у свою чергу, мають узгоджуватися з інтересами місцевого населення, інтересами інших природокористувачів, котрі хоча і не мають безпосереднього відношення до ВГК, але, наприклад, спеціалізуються на використанні «зелених» технологій, «зеленому» туризмі тощо.

Розвиток малої гідроенергетики в країні має ґрунтуватися на басейновому принципі управління водними ресурсами [32]. У зв'язку з цим, на будівництво нових МГЕС в країні, як, в принципі, і на будь-яке інше нове гідротехнічне будівництво на малих і середніх ріках, притоках і потічках, до належного вивчення проблеми слід встановити державний мораторій, незалежно від того, в якому стані наразі перебувають річки, чи планувалось на них дотепер, планується чи може плануватися нове гідротехнічне будівництво, в тому числі і будівництво в інтересах місцевих громад чи в будь-яких інших інтересах. Слід також зазначити, що демонтаж існуючих (як непрацюючих, так і працюючих) гідроспоруд, зміна режимів їх експлуатації тощо також мають розглядатися в контексті дотримання басейнового принципу управління водними ресурсами – як заходи, направлені на його виконання. Для цього мають бути розроблені чіткі, науково обґрунтовані критерії, які вказуватимуть на його порушення.

Відновлення чи будівництво нової МГЕС на рівнинній річці, враховуючи необхідність використання при цьому водосховища, лише в інтересах гідроенергетики не може допускатися. Для того щоб побудувати чи відновити водосховище, має бути доведена економічна доцільність його експлуатації в інтересах різних суб'єктів господарювання – учасників ВГК (риборозведення, іригація, водопостачання, рекреація та ін.), які заявляють про свої наміри, з оцінкою впливу водосховища та, окремо, діяльності кожного з учасників ВГК на довкілля, з врахуванням сукупної (інтегрованої) шкоди для екології ріки та навколишньому середовищу. Облаштування МГЕС у складі водосховища комплексного призначення може розглядатися лише в контексті законного інтересу власника МГЕС як одного з учасників ВГК. При цьому має встановлюватись відповідальність як всіх учасників ВГК, так і кожного окремого учасника ВГК за стан гідроспоруд, їх надійність і безпеку, включно і стан водосховища та нижнього б'єфу на всій протяжності потенційно можливих (включно відтермінованих та побічних, прямих і опосередкованих) впливів гідроспоруд та діяльності учасників ВГК на ріку вгору і вниз за її течією. Одна з основних вимог, що має застосовуватися при будівництві МГЕС у складі вже існуючого гідровузла, – це відсутність (мінімізація) додаткового впливу на навколишнє середовище. Слід враховувати, що будь-які, навіть незначні зміни, що привносяться у вже усталені режими рівнів верхнього і нижнього б'єфів, можуть призводити до появи значних, зазвичай негативних, впливів на довкілля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Розп. КМ України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80/paran2#n2>.
2. До 2020 року в Україні 11% енергії вироблятиметься з відновлюваних джерел. URL: <http://ecotown.com.ua/news/Do-2020-roku-v-Ukrayini-11-enerhiyi-vyroblyatymetsya-z-vidnovlyuvanykh-dzherel/>.
3. Малая гидроэнергетика / Под ред. Л. П. Михайлова. Москва : Энергоатомиздат. 1989. 184 с.
4. Zarko Janic. Small Hydro Power Plants in Croatia. URL: <https://www.scribd.com/document/126795750/205957-Small-Hydro-Power-Plants-in-Croatia>.
5. Мала гідроенергетика світу. URL: <https://msd.in.ua/mala-gidroenergetika-svitu/>.

6. Огляд ситуації щодо гідроенергетики в Україні URL: https://sensor.net.ua/blogs/4415/oglyad_situats_schodo_gdroenegetiki_v_ukran.
7. Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики / за ред. В. М. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал. 2013. 399 с. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/part-2/section-2/2-8>.
8. Яцик А. В., Бишовець Л. В., Богатов Є. О. Малі річки України: Довідник / За ред. А. В. Яцика. Київ : Урожай. 1991. 296 с.
9. Ободовський О. Г., Рахматулліна К. Р., Тимуляк Л. Н. Коротка історія розвитку та сучасний стан малої гідроенергетики на рівнинних річках України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016. Т. 4 (43). С. 94-106.
10. Васько П. Ф. Сучасний стан та перспективи розвитку малої гідроенергетики України : Національний інститут стратегічних досліджень при Президентові України. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1583/>.
11. Ландау Ю. А. Основные тенденции развития гидроэнергетики Украины. Техногенна безпека. Наукові праці. 2012. Том 53. Вип. 40. С. 82-86.
12. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроелектроенергетики України. Аналітична доповідь / за ред. О. М. Суходолі. Київ : Національний інститут стратегічних досліджень при Президентові України. 2014 р. 54 с. URL: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/GES-993ae.pdf>.
13. Реформи в сфері енергоефективності та відновлюваної енергетики: досягнення за останні 3 роки, ініціативи та їхній ефект на економіку України. Звіт роботи Голови Держенергоефективності за 3 роки (2014-2017). URL: http://sae.gov.ua/sites/default/files/REPORT_29_08_2017.pdf.
14. Атлас енергетичного потенціалу відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії. НАН України, Інститут електродинаміки. Державний комітет України з енергозбереження. Київ : 2001. URL: http://www.intelcenter.com.ua/rus/library/atlas_alten_UA.htm.
15. Мороз А. В., Васько П. Ф. Стан та потенціал малої гідроенергетики України. Відновлювана енергетика. 2014. № 3. С. 81-86.
16. Васько П. Ф., Мороз А. В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. Відновлювана енергетика. 2016. № 3. С. 50-56.
17. Закон України «Про електроенергетику». URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80>.
18. Васильев Ю. С., Елистратов В. В. Реконструкция малых ГЭС на примере северо-запада России. Вісник НУВГП. Зб. наукових праць. Вип. № 2 (34). Рівне : НУВГП. 2009. С. 38-45.
19. Майсснер Ф., Укердт Ф. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні: потенціал, перешкоди і рекомендації щодо економічної політики. 2010 BE Berlin Economics GmbH. URL: http://www.ier.com.ua/files/Projects/2010/2010_13/BE-Studie-ErneuerbareEnergien-ukr_final.pdf.
20. Стефанишин Д. В. Про перспективи розвитку вітчизняної гідроенергетики в контексті планів будівництва каскаду гідроелектростанцій у Дністровському каньйоні. Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. Вип. 23 (№ 1-2). Київ : ІТГП НАНУ, КНУБА. 2017. С. 5-19.
21. Стефанишин Д. В. Про негативні наслідки будівництва малої гідроелектростанції на р. Случ біля с. Губків. Перспективи розвитку сільського та екологічного туризму в Україні. Зб. тез I Міжнародної наук.-практ. конф. Березне. 20-21 травня 2016 р. «Рівненський центр маркетингових досліджень». Рівне : Видавець Олег Зень. 2016. С. 145-147.
22. Ландау Ю. О., Сташук І. В. Перспективи створення Верхньодністровського каскаду ГЕС. Гідроенергетика України. 2016. № 1-2. С. 2-6.
23. Шкробот М. В. Сучасний стан та перспективи розвитку гідроелектроенергетики України. Бізнес-навігатор. №1 (27). 2012. С. 66-70.

24. Васько П. Ф., Васько В. П., Ібрагімова М. Р. Мала гідроенергетика в структурі електроенергетичної галузі України. Відновлювана енергетика. 2015. № 3. С. 53-61.
25. Водний Кодекс України. Введено в дію Постановою Верховної Ради України № 213/95 від 06.06.1995. Відомості Верховної Ради України. 1995. №24. Ст. 189. Редакція станом на 04.06.2017 р. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>.
26. Векслер А. Б., Ивашинов Д. А., Стефанишин Д. В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2002. 591 с.
27. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів. Затв. нак. МНС України від 23.02.2006 р. за № 98. Зареєстр. в Міністиці України від 20.03.2006 за № 286/12160. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0286-06>.
28. Карамушка А. М., Касьяненко А. И., Ландау Ю. А. Украина – член Международной комиссии по большим плотинам. Гідроенергетика України. №3. 2010. С. 1-4.
29. Стефанишин Д. В. Про перспективи розвитку вітчизняної гідроенергетики в контексті планів будівництва каскаду гідроелектростанцій у Дністровському каньйоні. Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. Вип. 23 (№ 1-2). Київ : ІТГП НАНУ, КНУБА, 2017. С. 5-19.
30. Стефанишин Д. В. Соціально-екологічні проблеми відновлення та модернізації малих гідроелектростанцій в Україні. Гідроенергетика України. № 1-2. 2015. С. 18-22.
31. Ігнат'єв С. 7 трендів енергетики. URL: http://biz.nv.ua/ukr/experts/ignatyev_s/7-trendiv-energetiki-1666805.html.
32. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом. Відомості Верховної Ради. 2016. № 46, ст. 780. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1641-19>.

Стаття надійшла до редакції 27.02.2018.

УДК 519.863

Я.О. ОСТАПЕНКО, І.О. ЗАМОТА

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ НА ВИРОБНИЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

***Анотація.** Обґрунтовано доцільність застосування економіко-математичного моделювання для аналізу діяльності виробничого підприємства та прийняття оптимальних управлінських рішень. Запропоновано модель оптимізації виробництва ПАТ «Київхліб», за результатами аналізу якої визначено оптимальний обсяг виготовлення продукції за критеріями отримання максимального прибутку, рентабельності продукції, що виготовляється, та мінімізації використання ресурсів підприємства. На прикладі ПАТ «Київхліб» продемонстрована практична корисність аналізу виробничої діяльності підприємства з використанням економіко-математичного моделювання.*

***Ключові слова:** економіко-математичне моделювання, оптимізаційне моделювання, оптимізація виробничих витрат, оптимальний обсяг виробництва продукції.*

Вступ

Україна інтегрована у світові товарні ринки відповідно до умов угоди входу у СОТ [1]. Відповідно, зростаючої актуальності набуває питання забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних виробничих підприємств. В роботі В. Адамик та Г. Вербицької зазначено, що головним напрямком підвищення конкурентоспроможності виробничого підприємства, орієнтованого на кінцевого споживача (населення), є повне задоволення потреб споживачів шляхом підвищення якості випущеної продукції за прийнятними для них цінами згідно з поточним рівнем купівельної спроможності населення. Конкуренція впливає на формування попиту продукції підприємства, а обмеженість ресурсів вимагає шукати нові способи і шляхи планування виробничої програми та складання калькуляції продукції [2].

В умовах жорсткої конкуренції на внутрішньому і зовнішньому ринках харчової продукції набуває актуальності оперативне реагування підприємства харчової галузі на зміну господарської ситуації шляхом прийняття оперативних оптимальних управлінських рішень щодо обсягів виробництва та реалізації продукції, які забезпечили б достатній рівень доходу та підвищили б ефективність використання всіх видів виробничих ресурсів [3]. Виходячи з вищезазначеного, підприємство харчової промисловості має здійснювати постійний контроль за витратами та вартістю продукції, постійно працювати над зниженням собівартості, збільшувати ефективність використання ресурсів.

Для виробничого підприємства важливо визначитись, які види продукції та в якій кількості необхідно виготовляти, щоб отримати максимальний прибуток, утримати та розширити позиції на ринку, вклавшись при цьому в наявні ресурси, які бажано повністю використати. Цього можна досягти за

допомогою економіко-математичного моделювання, оскільки воно, на нашу думку, є універсальним інструментом дослідження та аналізу виробничих і господарських процесів будь-якого суб'єкта господарювання, що сприяє ефективному вирішенню завдань планування, виробництва та управління.

Метою статті є розробка та обґрунтування математичної моделі оптимізації діяльності виробничого підприємства, що функціонує в специфічних умовах української економіки з урахуванням витрат на виготовлення продукції, оптимізації ресурсів підприємства з метою отримання максимального прибутку.

Задачі статті: довести важливість застосування економіко-математичного моделювання для визначення оптимального виробництва продукції на виробничому підприємстві та прийняття оптимальних управлінських рішень; побудувати модель оптимізації виробництва, за результатами якої проаналізувати оптимальний обсяг виготовлення продукції підприємством для отримання максимального прибутку, рентабельність продукції, що виготовляється та використання ресурсів підприємства; на прикладі побудованої моделі продемонструвати ефективність аналізу виробничої діяльності підприємства з використанням економіко-математичного моделювання.

Дослідження виконане за матеріалами фінансової та бухгалтерської звітності ПАТ «Київхліб» за 2016 рік.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій та мета статті

Фундаментальний внесок у моделювання економічних процесів зробили представники економіко-математичної школи неокласицизму: Артур Пігу ("ефект Пігу") [4], Леон Вальрас (закон загальної економічної рівноваги, теорія економічного добробуту) [5], Вільфредо Парето ("оптимум за Парето") [6], Карл Менгер (теорія граничної корисності) [7], Френсіс Еджворт ("скринька Еджворта" – модель, яка ілюструє ефективність обміну) [8]. Ними створено базовий категорійний і математичний апарат інструментарію макрота мікроекономічного аналізу: еластичність попиту, граничний аналіз, коротко- та довгостроковий періоди, взаємозалежність ринків тощо.

Застосуванню системного аналізу та моделюванню в економіці присвячені роботи Вітлінського В.В. [9], Глушкова В.М. [10], Згуровського М.З. [11], Івахненка О.Г. [12] та ін. Значний вклад у теорію економіко-математичного моделювання галузей народного господарства в радянський і пострадянський час внесли Бакаєв О.О. [13], Смельянов О.Ю. [14], Панченко А.І. [15], Кравченко В.М. [16], та ін. Прикладні аспекти макромоделювання викладені в роботах В. Леонтьєва [17] і Д. Уеллі [18], К. Ерроу [19] і Ж. Дебре [20], П. Діксона [21], Л. Клейна [22], В. Макарова [23], Г. Клейнера [24] та інших.

Деякі праці закордонних науковців присвячені моделюванню і в галузі бухгалтерського обліку (Нечаєв А.С. [25], Бадмаєва Н.М. [26], Гараєв Д.Р. [27]), економічного аналізу (Гумеров М.Ф. [28] Шелобаєва І.С. [29]). Необхідність та доцільність застосування економіко-математичних методів в економічному аналізі на рівні підприємств досліджували: Е. Альтман [30] Р. Ліс [31], У. Бівер [32].

Серед українських науковців мікроекономічне моделювання в своїх працях розглядали: Вітлінський В.В. (моделювання у сфері підприємництва) [33], Стрелюк О.В. (моделювання фінансово-економічної діяльності підприємства засобами лінійного програмування) [34], Чорна О.Є. (використання економіко-математичних моделей в процесі управління капіталом підприємства) [35], Фарафонова Н.В. (оптимізація використання виробничих ресурсів сільськогосподарськими підприємствами) [36] тощо.

Але, на жаль, моделювання оптимального виробництва продукції на виробничому підприємстві з прикладної точки зору є мало досліджуваним. В сучасних наукових працях здебільшого розглядаються теоретико-методологічні аспекти моделювання економічних процесів [37] та застосування економіко-математичних моделей в сільському господарстві [38].

На сьогоднішній день на діяльність українських виробничих підприємств впливає ряд негативних факторів: нестабільна політична та фінансова ситуація, брак вільних виробничих потужностей, нестача кваліфікованого виробничого персоналу, обмеженість у фінансуванні та розвитку, недосконалість законодавчо-правової бази тощо [39]. Тому виникає потреба в постійному моніторингу та аналізі виробничої діяльності для прийняття оптимальних управлінських рішень, спрямованих на забезпечення конкурентоздатності підприємства. Важливим завданням будь-якого виробничого підприємства за даних умов є пошук економіко-математичних моделей, найбільш адекватних сучасним українським реаліям господарювання, та використання результатів моделювання в плануванні і управлінні виробництвами, враховуючи при цьому різні критерії оптимальності.

2. Призначення і різновиди економіко-математичних моделей та етапи моделювання

Під економіко-математичною моделлю розуміють концентроване вираження найсуттєвіших економічних взаємозв'язків досліджуваних об'єктів (процесів) у вигляді математичних функцій, нерівностей і рівнянь [40, с. 182].

Економіко-математичні моделі, що використовуються для аналізу та прогнозування суспільно-економічних явищ та процесів, поділяються на детерміновані та стохастичні. Детерміновані моделі базуються на застосуванні лінійної алгебри. Вони поділяються на балансові моделі та моделі оптимального планування.

Основою стохастичних (факторних) моделей є закони теорії ймовірності, принцип вирівнювання статистичних рядів. Факторні моделі описують залежність рівня і динаміки певного результативного економічного показника від рівня та динаміки факторних економічних показників, які впливають на нього. Факторні моделі можуть включати різну кількість змінних величин і відповідних їм параметрів. Тому вони поділяються на однофакторні (фактором є один часовий параметр) та багатофакторні (одночасно враховують вплив декількох факторів на рівень і динаміку прогнозованого показника). Застосування економіко-математичних моделей на різних рівнях економічної діяльності дає змогу розв'язувати економічні проблеми різного рівня складності [41, с. 323]. Аналіз економічних явищ і процесів за допомогою моделювання зазвичай здійснюється у такій послідовності:

1. Постановка та формулювання економічної проблеми.
2. Вибір та опис об'єкта моделювання (залежні змінні).
3. Визначення та аналіз факторів, які впливають на залежні змінні (незалежні змінні).
4. Формування інформаційної бази моделі.
5. Побудова рівнянь економіко-математичної моделі.
6. Оцінка якості та надійності параметрів моделі та самої моделі.
7. Апробація моделі, її результатів в процесі прийняття рішень.

Для розв'язання економіко-математичної моделі застосовують певні методи відповідно до типу моделі [42, с. 154]:

- економічної кібернетики: системного аналізу, теорії управління системами тощо;
- математичної статистики, економетрики та економетрії: дисперсійного, кореляційного, регресійного, факторного, індексного аналізу тощо;
- прийняття оптимальних рішень: оптимізаційного моделювання, математичного програмування, дослідження операцій тощо;
- ринкової економіки: оптимального ціноутворення і планування, оптимального функціонування фірми, конкуренції тощо;
- експериментального вивчення економічних явищ: імітаційного моделювання.

Для аналізу виробничої діяльності підприємства, що функціонує в умовах української економіки, можна використовувати оптимізаційне моделювання, яке дозволяє знайти та обрати найкращий (оптимальний) варіант виробництва за умовою мінімізації використання ресурсів з метою отримання максимального прибутку. Умовою такого моделювання є чітке формулювання кінцевої мети аналізу, що обумовлює визначення критерію, за яким порівнюються варіанти розв'язку. Такими критеріями можуть бути: найбільший прибуток, найменші витрати виробництва, максимальне завантаження устаткування, максимальна продуктивність праці та ін.

3. Побудова оптимізаційної моделі ПАТ «Київхліб»

Дослідження виробничої та господарської діяльності підприємства є важливим етапом аналізу можливих варіантів його розвитку, що сприятиме обґрунтуванню оптимальних управлінських рішень.

Універсальним інструментом такого дослідження є оптимізаційне моделювання. Оцінка економічної ефективності діяльності виробничого підприємства здійснена на прикладі фактичних облікових даних публічного акціонерного товариства (ПАТ) «Київхліб». До складу товариства входить 6 виробничих майданчиків у м. Київ та 5 – в Київській області (м. Бровари, Макарів, Сквиря, Біла Церква та Фастів). Загальна кількість працівників – понад 4 тисячі. Завдяки тривалому досвіду і професіоналізму фахівців, здатних реалізувати кращі рецептури (зокрема традиційні), відпрацьованим технологіям виробництва та високому технічному рівню, компанія вийшла в лідери у своєму сегменті вітчизняного ринку. Наразі об'єднання випускає хлібобулочну і кондитерську продукцію під торговими марками: ТМ «Київхліб», ТМ «БКК», ТМ "БКК-преміум", ТМ «Марсель».

Підвищення економічної ефективності виробництва підприємства та виявлення резервів ресурсного потенціалу потребує подальшої оптимізації виробництва продукції та наявних виробничих ресурсів. Для цього доцільно здійснити відповідне економіко-математичне моделювання та проаналізувати його результати.

Для розв'язку моделі авторами використана програма Microsoft Excel, бо вона є доступною для будь-якого суб'єкта підприємницької діяльності, нескладна в експлуатації, малозатратна в придбанні та обслуговуванні порівняно з іншими програмними продуктами, а також не потребує додаткового навчання персоналу з навичок використання, а відповідно й додаткових витрат підприємства.

На основі показників калькуляції ПАТ «Київхліб» розроблена модель, що визначає максимально можливий прибуток підприємства за певних обмежень виробничих ресурсів. Вхідна інформація для побудови такої оптимізаційної моделі наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Калькуляція виробництва продукції ПАТ «Київхліб», 2016 рік

Виробнича продукція	Білий хліб, кг	Італійський хліб з родзинками, кг	Житній хліб, кг	Чорний хліб з висівками, кг	Булка французька, кг	Об'єм ресурсів, кг
Стаття витрат						
Сировина і матеріали, грн	10,806	17,779	17,779	17,779	17,779	653705,97
Ел/енергія на виробничі потреби, грн	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	10020
Відрядна зарплата виробничих робітників, грн	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	33720
Відрахування на соціальні потреби, грн	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	8820
Амортизація основних фондів, грн	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	5400
Оклад виробничих робітників, грн	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	79900
ЄСВ, грн	0,349	0,349	0,349	0,349	0,349	20950
Зарплата не виробничого персоналу, грн	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	52374
ЄСВ, грн	0,228	0,228	0,228	0,228	0,228	13676,4
Ел/енергія на не виробничі потреби, грн	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	671,76
Орендна плата, грн	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	24000
Вартість, грн	20,601	30,154	16,496	19,485	21,851	

Джерело: складено авторами за [4].

Структурна модель оптимізаційної задачі за критерієм максимізації доходу від реалізації продукції має вигляд:

$$\begin{aligned} \max F &= \sum_{i=1}^n c_i x_i \\ \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n a_{ji} \cdot x_i \leq b_j, \quad (j = \overline{1, m}) \\ x_i \geq 0, \quad (i = \overline{1, n}) \end{array} \right. \end{aligned} \quad (1)$$

де:

- F – дохід від реалізації продукції виробничого підприємства;
- c – ціна реалізації одиниці певного (j -го) виду продукції;
- x – кількість продукції певного (j -го) виду ($j = 1, 2, \dots, 5$);
- a – норма витрат певного (i -го) виду ресурсів на виробництво (j -го) виду продукції;
- b – фактичний обсяг (i -го) виду ресурсу;
- n – кількість видів продукції, що виготовляється підприємством;
- m – кількість наявних ресурсів, які задіяні у виробничому процесі.

Числова економіко-математична модель за зазначеними економічними показниками підприємства «Київхліб» має вигляд:

$$\begin{cases} \max F = 20,601x_1 + 30,154x_2 + 16,496x_3 + 19,485x_4 + 21,851x_5 \\ 10,806x_1 + 17,779x_2 + 17,779x_3 + 17,779x_4 + 17,779x_5 \leq 653705,97 \\ 0,167x_1 + 0,167x_2 + 0,167x_3 + 0,167x_4 + 0,167x_5 \leq 10020 \\ 0,562x_1 + 0,562x_2 + 0,562x_3 + 0,562x_4 + 0,562x_5 \leq 33720 \\ 0,147x_1 + 0,147x_2 + 0,147x_3 + 0,147x_4 + 0,147x_5 \leq 8820 \\ 0,09x_1 + 0,09x_2 + 0,09x_3 + 0,09x_4 + 0,09x_5 \leq 5400 \\ 1,33x_1 + 1,33x_2 + 1,33x_3 + 1,33x_4 + 1,33x_5 \leq 79900 \\ 0,349x_1 + 0,349x_2 + 0,349x_3 + 0,349x_4 + 0,349x_5 \leq 20950 \\ 0,87x_1 + 0,87x_2 + 0,87x_3 + 0,87x_4 + 0,87x_5 \leq 52371 \\ 0,228x_1 + 0,228x_2 + 0,228x_3 + 0,228x_4 + 0,228x_5 \leq 13676,4 \\ 0,012x_1 + 0,012x_2 + 0,228x_3 + 0,228x_4 + 0,228x_5 \leq 671,76 \\ 0,4x_1 + 0,4x_2 + 0,4x_3 + 0,4x_4 + 0,4x_5 \leq 24000 \end{cases} \quad (2)$$

Для розв’язання даної оптимізаційної задачі застосований спеціальний програмний модуль – розв’язувач Excel Solver (у русифікованій версії – «Поиск решения»), оскільки результат його розрахунків має інтерпретуватися і як розв’язок математичної задачі оптимізації, і як управлінське рішення, сформоване за результатами модельних обчислень. Цей модуль (надбудова) реалізує основні оптимізаційні моделі трьома чисельними методами для розв’язання задач лінійної, цілочислової й нелінійної оптимізації. Вища версія Excel 2007/2010/2013 доповнена генетичним алгоритмом еволюційного моделювання (результати розрахунку в табл. 2).

Таблиця 2 – Результати розв’язку моделі

Невідомі	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Значення ЦФ			
Значення невідомих	48983,57	6996,428	0	0	0	1220080,853			
Коефіцієнти ЦФ	20,601	30,154	16,496	19,485	21,851				
	Коефіцієнти системи обмежень						ліва частина	знак	права частина
Обмеження 1	10,806	17,779	17,779	17,779	17,779	653705,97	≤	653705,97	
Обмеження 2	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	9348,66	≤	10020	
Обмеження 3	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	31460,76	≤	33720	
Обмеження 4	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	8229,06	≤	8820	
Обмеження 5	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	5038,2	≤	5400	
Обмеження 6	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	74453,4	≤	79900	
Обмеження 7	0,349	0,349	0,349	0,349	0,349	19537,02	≤	20950	
Обмеження 8	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	48702,6	≤	52374	
Обмеження 9	0,228	0,228	0,228	0,228	0,228	12763,44	≤	13676,4	
Обмеження 10	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	671,76	≤	671,76	
Обмеження 11	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	22392	≤	24000	

Джерело: авторські розрахунки.

Таблиця 2 містить наступну інформацію.

Рекомендована для виготовлення кількість продукції, кг:

x_1 – «Білий хліб»;

x_2 – «Італійський хліб з родзинками»;

x_3 – «Житній хліб»;

x_4 – «Чорний хліб з висівками»;

x_5 – «Булка французька»

Коефіцієнти цільової функції (ЦФ) – вартість виготовленої продукції за видами.

Коефіцієнти системи обмежень за нумерацією – витрати на виготовлення продукції (грн):

1 – сировина і матеріали;

2 – ел/енергія на виробничі потреби;

3 – відрядна зарплата виробничих робітників;

4 – відрахування на соціальні потреби;

5 – амортизація основних фондів;

6 – оклад виробничих робітників;

7 – єдиний соціальний внесок від окладу виробничих робітників;

8 – зарплата невиробничого персоналу;

9 – ЄСВ від зарплати невиробничого персоналу;

10 – ел/енергія на невиробничі потреби;

11 – орендна плата.

Ліва частина – понесені витрати на виробництво продукції за умови її виготовлення в рекомендованій кількості.

Права частина – максимально наявний на виробництві обсяг ресурсів.

За результатами розв'язку моделі отримано, що для досягнення максимального річного прибутку (1 220 080,853 грн) за рік ПАТ «Київхліб» має випускати 48 983,57 кг білого хліба та 6996,428 кг італійського хліба з родзинками. При цьому житній хліб, чорний хліб з висівками та булка французька є нерентабельними через низьку ціну їх реалізації. Такий результат є черговим підтвердженням того, що критично важливі для соціального забезпечення населення виробництва не можуть мати цільовою функцією своєї діяльності максимізацію прибутку.

4. Аналіз використання ресурсів та рентабельності продукції на ПАТ «Київхліб» за результатами двоїстої моделі

Для аналізу використання ресурсів на підприємстві пропонуємо параметризувати та розв'язати двоїсту модель наступного вигляду:

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_{j=1}^n b_j y_j \\ \left\{ \begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} y_j &\geq c_i, \quad (i = \overline{1, n}) \\ y_j &\geq 0, \quad (j = \overline{1, m}) \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (3)$$

де: Z – виробничі витрати ресурсів підприємства;

y_j – ціна одиниці певного виду ресурсу ($j = 1, 2, 3, \dots, 11$);

a – норма витрат певного виду ресурсів на виробництво певного виду продукції;

b – фактичний обсяг певного виду ресурсу;

n – кількість видів продукції, що виготовляється підприємством;

m – кількість наявних ресурсів, які задіяні у виробничому процесі.

За показниками калькуляції ПАТ «Київхліб» модель має вигляд:

$$\begin{aligned} \min Z &= 653705,9y_1 + 10020y_2 + 33720y_3 + 8820y_4 + 5400y_5 + 79900y_6 + 20950y_7 \\ &\quad + 52374y_8 + 13676,4y_9 + 671,76y_{10} + 24000y_{11} \\ 10,806y_1 + 0,167y_2 + 0,562y_3 + 0,147y_4 + 0,09y_5 + 1,33y_6 + 0,349y_7 + \\ &\quad 0,87y_8 + 0,228y_9 + 0,012y_{10} + 0,4y_{11} \geq 20,601 \\ 17,779y_1 + 0,167y_2 + 0,562y_3 + 0,147y_4 + 0,09y_5 + 1,33y_6 + 0,349y_7 + \\ &\quad 0,87y_8 + 0,228y_9 + 0,012y_{10} + 0,4y_{11} \geq 30,154 \\ 17,779y_1 + 0,167y_2 + 0,562y_3 + 0,147y_4 + 0,09y_5 + 1,33y_6 + 0,349y_7 + \\ &\quad 0,87y_8 + 0,228y_9 + 0,012y_{10} + 0,4y_{11} \geq 16,496 \\ 17,779y_1 + 0,167y_2 + 0,562y_3 + 0,147y_4 + 0,09y_5 + 1,33y_6 + 0,349y_7 + \\ &\quad 0,87y_8 + 0,228y_9 + 0,012y_{10} + 0,4y_{11} \geq 19,485 \\ 17,779y_1 + 0,167y_2 + 0,562y_3 + 0,147y_4 + 0,09y_5 + 1,33y_6 + 0,349y_7 + \\ &\quad 0,87y_8 + 0,228y_9 + 0,012y_{10} + 0,4y_{11} \geq 19,485 \\ 17,779y_1 + 0,167y_2 + 0,562y_3 + 0,147y_4 + 0,09y_5 + 1,33y_6 + 0,349y_7 + \\ &\quad 0,87y_8 + 0,228y_9 + 0,012y_{10} + 0,4y_{11} \geq 21,851 \end{aligned} \quad (4)$$

Розрахунки за цією моделлю здійснені засобами Microsoft Excel (результати в табл. 3).

Таблиця 3 – Результат розв’язку моделі з оптимізації витрат виробництва

невідомі	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}	Значення ЦФ		
значення невідомих	1,369999	0	0	0	0	0	0	0	0	483,0663	0	1220080,853		
коефіцієнти ЦФ	653706	10020	33720	8820	5400	79900	20950	52374	13676,4	671,76	24000			
коефіцієнти системи обмежень												ліва частина	знак	права частина
обмеження 1	10,806	0,167	0,562	0,147	0,09	1,33	0,349	0,87	0,228	0,012	0,4	20,601	≥	20,601
обмеження 2	17,779	0,167	0,562	0,147	0,09	1,33	0,349	0,87	0,228	0,012	0,4	30,154	≥	30,154
обмеження 3	17,779	0,167	0,562	0,147	0,09	1,33	0,349	0,87	0,228	0,012	0,4	30,154	≥	16,496
обмеження 4	17,779	0,167	0,562	0,147	0,09	1,33	0,349	0,87	0,228	0,012	0,4	30,154	≥	19,485
обмеження 5	17,779	0,167	0,562	0,147	0,09	1,33	0,349	0,87	0,228	0,012	0,4	30,154	≥	21,851

Джерело: авторські розрахунки.

Таблиця 3 містить наступну інформацію:

Значення невідомих – перевитрати ресурсів :

Y_1 – сировина і матеріали;

Y_2 – електроенергія на виробничі потреби;

Y_3 – відрядна зарплата виробничих робітників;

Y_4 – відрахування на соціальні потреби;

Y_5 – амортизація основних фондів;

Y_6 – оклад виробничих робітників;

Y_7 – єдиний соціальний внесок від окладу виробничих робітників;

Y_8 – зарплата невиконавчого персоналу;

Y_9 – ЄСВ від зарплати невиконавчого персоналу;

Y_{10} – електроенергія на невиконавчі потреби;

Y_{11} – орендна плата.

Коефіцієнти системи обмежень – витрати на виробництво продукції:

1 – «Білий хліб»;

2 – «Італійський хліб з родзинками»;

3 – «Житній хліб»;

4 – «Чорний хліб з висівками»;

5 – «Булка французька»

Ліва частина – понесені витрати на виготовлення продукції.

Права частина – вартість виготовленої продукції.

За результатами розв’язку моделі отримано, що збільшення витрат сировини і матеріалів на 1 грн призводить до збільшення обсягу виробництва на 1,37 грн, витрат електроенергії на виробничі потреби – на 483,067 грн. Всі інші ресурси маємо в надлишку, тому їх збільшення до жодної зміни цільової функції не призведе.

Для визначення рентабельності продукції отримані значення у підставляються у систему обмежень двоїстої задачі. Результати наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Рентабельність продукції ПАТ «Київхліб» за результатами моделювання

Вид продукції	Вартість продукції за калькуляцією, грн	Вартість продукції за моделюванням, грн	Порівняння з результатами моделювання	Рентабельність продукції
Білий хліб	20,601	20,601	=	рентабельна
Італійський хліб з родзинками	30,154	30,154	=	рентабельна
Житній хліб	30,152	16,496	>	нерентабельна
Чорний хліб з висівками	30,154	19,485	>	нерентабельна
Булка французька	30,154	21,851	>	нерентабельна

Джерело: авторські розрахунки.

Показники табл. 4 підтверджують, що для ПАТ «Київхліб» за заданих витрат на виробництво виготовлення продукції «Житній хліб», «Чорний хліб з висівками» та «Булка французька» є нерентабельним. Тому доцільно зменшити випуск зазначених сортів хліба. Для максимізації прибутку підприємство має збільшити випуск білого хліба та італійського хліба з родзинками.

Висновки

Обґрунтовано та доведено важливість застосування економіко-математичного моделювання для визначення оптимального виробництва продукції на виробничому підприємстві з метою прийняття оптимальних управлінських рішень. Побудовано модель оптимізації виробництва, за результатами якої проаналізовано оптимальний обсяг виготовлення продукції для отримання максимального прибутку, а також рентабельність продукції, що виготовляється, та використання ресурсів. На прикладі побудованої моделі продемонстровано ефективність аналізу виробництва підприємства з використанням економіко-математичного моделювання.

Для розв'язку оптимізаційних моделей середнього рівня складності, до якого належить і запропонована нами модель, доцільно використовувати універсальну комп'ютерну програму, доступну пересічному користувачеві: табличний процесор Microsoft Excel, зокрема, його спеціальний програмний модуль – розв'язувач Excel Solver («Поиск решения», «Пошук рішень»), що призначений для розв'язування задач лінійного програмування.

Технологія оптимізаційного моделювання в Excel, що розглядається, може бути застосована до практично необмеженого спектра оптимізаційних задач й стати стандартним засобом аналізу, формування й прийняття управлінських рішень, розгорнутим на звичайному ПК, обладнаному пакетом

програм MS Office, що є в Україні стандартним засобом електронного документообігу.

Вирішення подібних задач в Microsoft Excel реалізовано як пошук значення параметра функції, що відповідає конкретному значенню функції. Оскільки за допомогою Excel можна вирішувати будь-які системи рівнянь з одним невідомим. Можливо також знаходити значення кількох параметрів, що забезпечують отримання попередньо заданого результату, та максимально чи мінімально можливе значення. За допомогою інструменту «Пошук рішення» у Excel можливо вирішувати як лінійні задачі (задачі лінійного, цілочисельного і стохастичного програмування), так і нелінійні (задачі нелінійного програмування).

Економічна ефективність здійснення такого моделювання на виробничому підприємстві продемонстрована на методичному прикладі ПАТ «Київхліб». За показниками калькуляції підприємства побудовано та проаналізовано оптимізаційну модель, яка відображує ефективність використання виробничих ресурсів та рентабельність продукції, що виготовляється.

Згідно з результатами розв'язку складеної моделі, щоб отримати максимальний прибуток у 1220 млн грн, підприємству необхідно збільшити випуск білого хліба та італійського хліба з родзинками. Інші види продукції є нерентабельними. Причому збільшення випуску цієї продукції потребуватиме збільшення виробничих витрат матеріальних ресурсів у категоріях «сировина і матеріали» та, особливо, «електроенергія на виробничі потреби». Причому виготовлення нерентабельних видів соціально значимої продукції можливо лише в обсягах, витрати на які перекриваються сумою чистого прибутку від реалізації рентабельної продукції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про ратифікацію Протоколу про вступ України до Світової організації торгівлі: Закон України від 10 квітня 2008 р. N 250-VI // Відомості Верховної Ради України. – 2008. – № 23. – С. 612.
2. В. Адамик. Оцінка конкурентоспроможності підприємств / В. Адамик, Г. Вербицька // Вісник ТНЕУ № 1, 2008 р., С. 71.
3. Е. І. Сакс. Впровадження бізнес планування на підприємствах харчової промисловості як напрям підвищення їх ефективності / Е. І. Сакс // Ефективна економіка – 2013 р. – №7 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.m.nayka.com.ua/?op=1&j=efektyvna-ekonomika&s=ua&z=2207>
4. Пигу А. Экономическая теория благосостояния. / А. Пигу. – М.: Прогресс, 1985. – С. 6.
5. Walras L. Elements of pure economics, or The theory of social wealth. Homewood (111.), 1954. (Translated by W. Jaffe from the Definitive ed.).
6. Парето Вильфредо. Компедиум по общей социологии / Государственный ун-т Высшая школа экономики / А. А. Зотов (пер. с ит.). – 2-е изд. – М. : Издательский дом ГУ ВШЭ, 2008. – 512 с. – Перевод изд.: Compendio di sociologia generale / Vilfredo Pareto. Firenze, 1920.
7. Карл Менгер. Основания политической экономии [Електронний ресурс]: Электронная библиотека Экономика 2000. – Режим доступу: <http://e2000.kyiv.org/biblioteka/index.shtml>.
8. J. Greedy, F.Y. Edgeworth, Pioneers of Modern Economics in Britain, D.P. O'Brien and J.R. Presley (eds.) (Macmillan, 1981).

9. Вітлінський В.В. Аналіз, оцінка і моделювання економічного ризику – К.: Деміург, 1996. – 212 с.
10. Глушков В. М. Моделирование развивающихся систем / В. М. Глушков, Г555 В. В. Иванов, В. М. Яненко. – М. : Наука, 1983. – 350 с.
11. Згуровский, М. Системный анализ: Проблемы, методология, приложения [Текст] / М. Згуровский, Н. Панкратова. – К. : Наук. думка, 2005. – 743 с.
12. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Ивахненко. – К.: Наук. думка, 1982. – 296 с.
13. Бакаев О.О. Макроеконометричне моделювання економічного розвитку України: монографія / О.О. Бакаєв, Т.Г. Кравченко, Т.А. Маукмінова; // За заг. ред. О.О. Бакаєва, Т.А. Маукмінової. – К.: 2004. – 124 с.
14. Смелянов О.Ю. Модели оптимізації фінансового плану інвестиційної діяльності підприємства // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин (зб. наук, праць). – К.: КДТУБА, 1998. – Випуск 4. – С. 90–97.
15. Алексеев А. А. Модель визначення інтегрального показника інвестиційної привабливості підприємства / А. А. Алексеев, А. І. Панченко // Мат. машини і системи. – 2004. – № 4. – С. 157–163.
16. Кравченко В. М. Математические модели определения параметров функционально законченных элементов комплекса / В. М. Кравченко, А. К. Семенченко, О. Е. Шабаев // Систем. технології. - Д., 1999. – Вип. 7. – С. 77–81.
17. Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика: Пер. с англ. / Автор предисл. и науч. ред. А.Г. Гранберг. – М.: ОАО издательство «Экономика», 1997. – 479 с.
18. Уэлли Дж. Прикладные модели общего равновесия // Панорама экономической мысли конца XX столетия / Ред. Д. Гринэуэй, М. Блини, И. Стюарт: В 2 т. – СПб., 2002. – Т. 2. – С. 776–794.
19. Arrow K. J., Debreu G. Existence of Equilibrium for a Competitive Economy // *Econometrica*. 1954. V. 25. 265–2.
20. Неоклассическая экономическая теория – Жерар Дебре [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.rosreferat.ru/economy/847.htm>.
21. Диксон П. Бизнес – бренды: Стратегическое моделирование. – М.: Эксмо, 2005.
22. Клейн Л.Р. Проект ЛИНК // Экономика и математические методы. – Том 12. – 1977. – №3. – С. 29–34.
23. Макаров В.В. Математическое моделирование периодических процессов и систем химической технологии / В.В. Макаров. – М.: МХТИ, 1984. – 48 с.
24. Клейнер Г.Б. Концепция реформирования предприятий в рыночной экономике / Г.Б. Клейнер // Проблемы моделирования развития производственных систем: Сборник материалов – М.: ЦЭМИ РАН, 1999. – С. 60–67.
25. Нечаев А.С. Бухгалтерские стандарты по учету амортизации основных средств как инструмент моделирования результата : Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. экон. наук : (08.00.12) / Нечаев Андрей Сергеевич ; [Байкал. гос. ун-т экономики и права]. – Иркутск, 2002. – 23 с.: ил. – Библиогр.: с. 23.
26. Бадмаева Ц. Н. Модели бухгалтерского баланса в финансовом анализе сельскохозяйственного предприятия: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. экон. наук: спец. 08.00.12 «Бухгалтерский учет, контроль и анализ хозяйственной деятельности» / Ц. Н. Бадмаева. – Санкт-Петербург – Пушкин, 2003. – 20 с.
27. Гараев Д.Р. Модели взаимодействия и сосуществования систем бухгалтерского учета и налогообложения / Д.Р. Гараев // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.dissercat.com/content/modeli-vzaimodeistviya-i-sosushchestvovaniya-sistem-bukhgalterskogo-ucheta-i-nalogooblozheni#ixzz2BB FQH8UB>.
28. Гумеров М.Ф. Сравнительная оценка экономического анализа и экономико-математического моделирования как феноменов экономической науки / М.Ф. Гумеров // Экономический анализ: теория и практика – 2014. – № 30(381) – С. 56–64.

29. Шелобаева И.С. Анализ применимости экономико-математических методов в деятельности банков. // Новые информационно-компьютерные технологии в образовании: Матер, обл. межвуз. Науч.-практ. конф. Тула, 2001. – С. 195–197.
30. Altman E.I. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy // The Journal of Finance. – 1968. – №4. – P. 589–609.
31. Модель Лиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://afdanalyse.ru/>.
32. Модели прогнозирования риска финансовой несостоятельности хозяйствующего субъекта. Модель Бивера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://borzak.ucoz.ua/publ/teoreticheskie_materialy.
33. Вітлінський В. В., Матвійчук А. В. Зміна парадигми в сучасній теорії економіко-математичного моделювання // Економіка України.– 2007.– № 11.– С. 35-43.
34. Моделювання фінансово-економічної діяльності підприємства засобами лінійного програмування [Текст] / О. В. Стрелюк // Проблеми науки. – 2013. – № 9(153). – С. 28–38.
35. Чорна О. Є. Використання економіко-математичних моделей у процесі управління капіталом підприємства / О. Є Чорна, Г. А. Шипіцина // Бізнес Інформ. – 2012. – № 4. – С. 46–49.
36. Фарафонова, Н. В. Оптимізація використання виробничих ресурсів сільськогосподарськими підприємствами / Н. В. Фарафонова // Економічний часопис. – XXI. – 2012. – №1–2. – С. 36-39.
37. Базась М. Ф. Моделювання економічних процесів та прийняття управлінських рішень / М. Ф. Базась // Журнал Бізнес. – 2013. – № 12. – С. 33–39.
38. Домаскіна М. А. Застосування економіко-математичного моделювання для планування сільськогосподарського виробництва / М. А. Домаскіна // Бізнес-навігатор. – 2014. – № 1. – С. 172–176.
39. Литвинюк О.П. Оцінка факторів конкурентоспроможності підприємств хлібопекарської промисловості [Електронний ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/12372/1/1-8.pdf>.
40. Магас Т.Є. Класи економіко-математичних моделей та їх застосування / Т.Є. Магас // Збірник наукових праць ВНАУ: Серія: Економічні науки – 2011. – №1. – С. 182–190.
41. Остапенко Я.О. Економіко-математичне моделювання як інструментарій прогнозування: теоретичний аспект / Я.О. Остапенко // International Scientific - Practical Conference Modern Transformation of Economics and Management in the Era of Globalization: Conference Proceedings. January 29, 2016. Klaipeda: Baltija Publishing. P. 321–323.
42. Клименко О.В. Економіко-математичне моделювання в системі управління фінансовою діяльністю підприємства / О.В. Клименко, А.М. Брезіцька // Сучасні проблеми економіки та підприємництва. – 2014. – №14. – С. 153–157.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2018.

РЕФЕРАТИ / ABSTRACTS

**ДО 100-РІЧЧЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
FOR THE 100th ANNIVERSARY OF THE NATIONAL ACADEMY OF
SCIENCES OF UKRAINE**

УДК 519.2, 519.6, 519.8

Современные диссертационные исследования Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства: математическое моделирование и вычислительные методы / Трофимчук А.Н., Миронцов Н.Л. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №1. – С. 7 – 30.

Представлены основные теоретические и практические результаты, вошедшие в диссертационные исследования, которые были успешно защищены сотрудниками (или под их руководством) Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины. Материал представлен в виде аннотационного обобщения основных опубликованных работ в периодических международных и отечественных специализированных изданиях, монографиях, материалах научных конференций и авторских свидетельств.

UDC 519.2, 519.6, 519.8

Modern dissertation researches of the Institute of Telecommunications and Global Information Space: Mathematical Modeling and Computational Methods / Trofymchuk O.M., Myrontsov M.L. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – №1. – P. 7 – 30.

The main theoretical and practical results, included in the dissertation research, were successfully defended by the employees (or under their direction) of the Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine. The material is presented in the form of an abstract generalization of the main published works in international and domestic periodic specialized publications, monographs, materials of scientific conferences and patents.

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ
INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY**

УДК 004.056:004.052

Иерархия факторов типовых сценариев реализации DDOS-атак. Часть 2 / Качинский А.Б., Ткач В.Н., Поденко А.А. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №1. – С. 31 – 48.

Предложено перечень рекомендаций относительно предупреждения реализации DDos-атак в зависимости от объекта защиты на основе анализа сценариев реализации методами анализа иерархий и анализа сетей.

UDC 004.056:004.052

Hierarchy of factors of DDOS-attacks typical implementation scenarios. Volume 2 / Kachynskiy A.B., Tkach V.M., Podenko A.A. // *Mathematical modeling in economy.* – 2018. – №1. – P. 31 – 48.

The list of recommendations for the DDOS-attacks feasibility prevention suggested, depending on the object of protection through the implementation of Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process.

УДК 504.34

Математические модели взаимосвязи между показателями экологической среды и здоровьем населения / Триснюк В.М. // *Математическое моделирование в экономике.* – 2018. – №1. – С. 49 – 55.

Решена важная научно-практическая задача, которая заключается в определении закономерностей влияния отдельных химических элементов на окружающую среду и здоровье населения.

UDC 504.349

Mathematical models of relationships between indicators of the environmental and healthy population / Trysnuk V.M. // *Mathematical modeling in economy.* – 2018. – №1. – P. 49 – 55.

An important scientific and practical task is solved, which is to determine the regularities of the influence of certain chemical elements on the environment and public health.

УДК 004.942

Изменение бизнес-модели управления ИТ на предприятии в связи с развитием сервисно-ориентированной информационной экономики / Копейка О.В., Кондратюк А.Г. // *Математическое моделирование в экономике.* – 2018. – № 1. – С. 56 – 66.

Предлагается использовать методы многокритериальной оптимизации для построения современной бизнес-модели управления ИТ на предприятии в связи с переходом к сервисно-ориентированной информационной экономике.

UDC 004.942

Change of the business model of management in the enterprise in connection with the development of the servo-oriented information economy / Kopyika O.V., Kondratiuk A.G. // *Mathematical modeling in economy.* – 2018. – № 1. – P. 56 – 66.

It is proposed to use multi-criteria optimization methods for building a modern business model of IT management in the enterprise in connection with the transition to a service-oriented information economy.

УДК 651.4.9 : 004

Формализация описания экономических и учебных процессов в э-образовании с использованием математических зависимостей типа Парето / Тихонов Ю.Л. // *Математическое моделирование в экономике.* – 2018. – №1. – С. 67 – 73.

Проанализированы подходы к формализации описания процессов в э-образовании. Э-образование относится к социально-педагогическим системам, которые тяжело формализуются по сравнению с физическими процессами. Это снижает возможности построения математических моделей. В работе рассматривается использование математических зависимостей типа Парето для этих целей. Построены подобные зависимости для прогноза спроса на обучение и для сравнения качества фрагментов электронных курсов при онтологическом подходе в э-образовании. Онтологический

подход с использованием ветвистости онтографа дает возможность получить распределение баллов по ветвям онтографа электронного курса. Усредненная по ветвям зависимость типа Парето для распределения баллов позволяет найти фрагмент электронного курса с наибольшим отклонением распределения баллов от среднего, т.е. требующий модификации.

УДК 651.4.9 : 004

Formalization of the description of economic and educational processes in e-learning with the use of mathematical dependences of Pareto / Tikhonov Yu.L. // *Mathematical modeling in economy*. – 2018. – №1. – P. 67 – 73.

Approaches to the formalization of the description of processes in e-education are analyzed. E-learning refers to socio-pedagogical systems that are heavily formalized in comparison with physical processes. This reduces the ability to build mathematical models. The paper considers the use of mathematical Pareto-type dependencies for these purposes. Such dependencies are constructed for forecasting the demand for learning and for comparing the quality of fragments of e-courses with the ontological approach in e-education. The ontological approach with the use of the branchiness of the ontograph makes it possible to obtain the distribution of scores on the branches of the ontograph of the electronic course. Averaged over Verviers Pareto-type relationship for the distribution of scores allows you to find a fragment of E-course with the highest score distribution deviation from the mean, i.e., requiring modification.

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

УДК 004.942 ; 627.512 ; 556.013

Про використання розподілу Гумбеля типу I при оцінці ризиків повеней / Стефанишин Д. В. // *Математичне моделювання в економіці*. – 2018. – № 1. – P. 74 – 83.

Розглядається можливість використання розподілу Гумбеля типу I в якості однієї з альтернативних прогностичних моделей при оцінці ризиків повеней на ріках, що здійснюється на основі прогнозування максимальних гідрологічних характеристик за даними гідрологічних спостережень. Наведено приклади та проаналізовано результати прогнозування максимальних витрат води малої ймовірності перевищення, отримані з використанням розподілу Гумбеля типу I та альтернативних розподілів ймовірності, для Дніпра (гідрометричний пост Вишгород) та Стрия (Верхне Синьовидне). Окрім аналітичних розподілів, для ріки Дніпра при порівняльному аналізі також використовувалась узагальнена функція розподілу ймовірності, отримана моделюванням в межах теорії нечітких множин. Показано можливість розширення сфери практичного застосування розподілу Гумбеля типу I при прогнозуванні гідрологічних максимумів за рахунок логарифмічного перетворення.

УДК 004.942 ; 627.512 ; 556.013

Об использовании распределения Гумбеля типа I при оценке рисков наводнений / Стефанишин Д. В. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2018. – №1. – С. 74 – 83.

Рассматривается возможность использования распределения Гумбеля типа I в качестве одной из альтернативных прогностичных моделей при оценке рисков наводнений на реках, осуществляемой на основе прогнозирования максимальных гидрологических характеристик по данным гидрологических наблюдений.

Приведены примеры и проанализированы результаты прогнозирования максимальных расходов воды малой вероятности превышения, полученные с использованием распределения Гумбеля типа I и альтернативных распределений вероятности, для Днепра (гидрометрический пост Вышгород) и реки Стрый (Верхнее Синевидное). Кроме аналитических распределений, для реки Днепр при сравнительном анализе также использовалась обобщенная функция распределения вероятности, полученная моделированием в рамках теории нечетких множеств. Показана возможность расширения сферы практического применения распределения Гумбеля типа I при прогнозировании гидрологических максимумов за счет логарифмического преобразования.

УДК 004.047

Некоторые модели обработки информации в сфере управления техногенной безопасностью / Кряжич О.А., Коваленко А.В. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – № 1. – С. 84 – 92.

В статье определены особенности обработки информации для потребностей управления техногенной безопасностью. Представлены оценочные значения на интервале для определения эффективности трансформации информации при ее обработке. Представлена модель построения системы управления для какого-либо класса сложных объектов с учетом критериев влияния и погрешности при трансформации информации управления.

UDC 004.047

Some models of information processing in the field of technogenical safety management / Kryazhych O.O., Kovalenko O.V. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – № 1. – P. 84 – 92.

In article features of information processing for requirements of management of technogenic safety are defined. Estimated values on the interval are presented to determine the efficiency of information transformation during its processing. The model of construction a control system for a class of complex objects is presented taking into account the criteria of influence and error in the transformation of control information.

УДК 628.35

Моделирование процессов удаления соединений азота из оборотной воды промышленных рыбоводных хозяйств / Кононцев С.В. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №1. – С. 93 – 102.

Обоснована эффективность использования рясковых для очистки оборотной воды в установках с замкнутым водоснабжением (УЗВ) от соединений азота. Определены основные факторы, влияющие на интенсивность процессов ассимиляции растениями биогенных элементов. Представлено математическое описание динамики иона аммония в условиях замкнутого контура УЗВ и зависимости темпов роста рясковых от абиотических факторов в фитореакторе для очистки оборотной воды. Определены рациональные пути регулирования очистной мощности фитореактора, проанализированы возможные направления интенсификации процессов ассимиляции соединений азота из оборотной воды УЗВ.

UDC 628.35

Modeling of processes of nitrogen compounds removal from circulating water at industrial fish-farming facilities / Konontsev S.V. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – №1. – P. 93 – 102.

Efficiency of using duckweed for water purification in recirculating water systems (RAS) installations by removing nitrogen compounds is substantiated. The main factors affecting

the intensity of biogenic elements assimilation processes by plants are determined. Presented are the mathematical description of ammonium ion dynamics in closed loop conditions of RAS and dependences determining duckweed growth rates on abiotic factors in phyto-reactor for circulating water purification. Rational ways of regulating the purifying power of the phytoreactor are determined and possible directions of intensification of nitrogen compounds assimilation processes from RAS circulating water are analyzed.

УДК 004.9:004.75

Некоторые аспекты построения корпоративных интегрированных информационных систем для управления предприятием / Лисецкий Ю.М. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – № 1. – С. 103 – 108.

Рассмотрены интегрированные информационные системы и приведена их классификация. Описаны особенности построения корпоративных интегрированных информационных систем и проблема нахождения их оптимального варианта.

UDC 004.9:004.75

Certain aspects of building Corporate Integrated Information Systems for enterprise management / Lisetskiy Yu.M. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – № 1. – P. 103 – 108.

The paper considers integrated information systems and provides their classification. There are described specificity of building corporate integrated information systems and problem of finding their optimal variant.

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

УДК 330.101.541-336.7

Моделирование макроэкономических процессов / Дунаев Б.Б., Любич А.А. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №1. – С. 109 – 125.

Предложена авторская динамическая дискретная модель функционирования экономики страны на макроуровне, в которой достигается равновесие экономики, т.е. рост реального ВВП, за счет расширенного воспроизводства производственного капитала и количества денег в обращении, а рыночное равновесие достигается за счет саморегулирования инфляции и безработицы. Проведено моделирование возможного развития экономики Украины на 2018–2022 годы. Доказано, что стабильный рост реального ВВП в Украине на уровне 3% возможен лишь при условии инвестиций в производство из года в год в объеме 50% валового внутреннего продукта.

UDC 330.101.541-336.7

Modeling of macroeconomic processes / Dunaev B.B., Lyubich A.A. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – №1. – P. 109 – 125.

The proposed author's dynamic discrete model of the functioning of the country's economy at the macro level, in which the equilibrium of the economy is achieved, i.e. the growth of real GDP, by expanding the reproduction of productive capital and the amount of money in circulation, and economics balance is achieved through self-regulation of inflation and unemployment. It is carried out modeling of the possible development of the Ukrainian economy for 2018–2022 years. It is proved that stable growth of real GDP in Ukraine at the level of 3% is possible only under condition of investing in production from year to year in the amount 50% of gross domestic product.

УДК 004.942 ; 626/627 ; 504.05

О проблемах и перспективах малой гидроэнергетики в Украине / Власюк Ю.С., Стефанишин Д.В. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №1. – С. 126 – 138.

Освещены и проанализированы ключевые социально-экологические и экономико-правовые проблемы отечественной малой гидроэнергетики. Выполнена оценка ее перспектив в свете реализации действующей Энергетической стратегии Украины, где среди основных приоритетов выделяется развитие возобновляемой энергетики как одного из условий модернизации энергетической отрасли страны и успешной интеграции ее объединенной энергосистемы (ОЭС) с ОЭС Европейского Союза. Отмечены факторы, которые наряду с тем, что способствуют инвестиционной привлекательности малой гидроэнергетики в стране, могут приводить к экологически конфликтным ситуациям. Сформулированы практические рекомендации, направленные на минимизацию негативного воздействия малых гидроэлектростанций на окружающую среду и обеспечение устойчивого развития приречных территорий.

UDC 004.942 ; 626/627 ; 504.05

On problems and prospects of small hydropower engineering in Ukraine / Vlasiuk Yu.S., Stefanyshyn D.V. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – №1. – P. 126 – 138.

The key socio-ecological and economic-legal problems of the domestic small hydropower engineering are highlighted and analyzed. Its perspectives are assessed in the light of the implementation of the current Energy Strategy of Ukraine, where among the main priorities the development of renewable energy is highlighted as one of the conditions for the modernization of the country's energy industry and the successful integration of its combined energy system (CES) with the European Union's CES. The factors are marked which not only contribute to the investment attractiveness of small hydropower in the country but as well as can lead to environmental conflict situations. Practical recommendations aimed at minimizing the negative impacts of small hydropower plants on the environment and ensuring the sustainable development of the river-bank territories are formulated.

УДК 519.863

Моделирование оптимального производства продукции на производственном предприятии / Остапенко Я.А., Замота І.А. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №1. – С. 139 – 151.

Обоснована целесообразность применения экономико-математического моделирования для анализа деятельности производственного предприятия и принятия оптимальных управленческих решений. Предложена модель оптимизации производства ЧАО «Киевхлеб», по результатам анализа которой определен оптимальный объем производства продукции по критериям получения максимальной прибыли, рентабельности изготавливаемой продукции и минимизации использования ресурсов предприятия. На примере ЧАО «Киевхлеб» продемонстрирована практическая полезность анализа производственной деятельности предприятия с использованием экономико-математического моделирования.

UDC 519.863

Modeling of the optimal production at a manufacturing enterprise / Ostapenko Ya.O., Zamota I.O. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – №1. – P. 139 – 151.

The expediency of application of economical - mathematical modeling for the analysis of activity of a production enterprise and acceptance of optimal managerial decisions is substantiated. The model of optimization of production of PJSC "Kyivkhib" was proposed,

according to the results of which the optimal volume of production was determined according to the criteria of obtaining the maximum profit, the profitability of manufactured products, and minimizing the use of enterprise resources. The example of PJSC "Kyivkhliv" demonstrates the practical utility of the analysis of the production activity of the enterprise using economic and mathematical modeling.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Власюк Юрій Степанович – аспірант Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (Україна, м. Рівне).

Дунаєв Борис Борисович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу Державної навчально-наукової установи «Академія фінансового управління» (Україна, м. Київ).

Замота Ірина Олександрівна – студентка ННІ обліку, аналізу та аудиту Університету державної фіскальної служби України (УДФСУ) (Україна, Київська обл., м. Ірпінь).

Качинський Анатолій Броніславович – доктор технічних наук, професор, Національний інститут стратегічних досліджень при Президентові України (Україна, м. Київ).

Коваленко Олександр Васильович – кандидат технічних наук, завідувач лабораторією ФТПДЯВ Інституту ядерних досліджень НАН України (Україна, м. Київ).

Кондратюк Андрій Георгійович – старший викладач Військового інституту телекомунікацій та інформатизації (ВІТІ) (Україна, м. Київ).

Кононцев Сергій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри водних біоресурсів Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (Україна, м. Рівне).

Копійка Олег Валентинович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України (Україна, м. Київ).

Кряжич Ольга Олександрівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Лисецький Юрій Михайлович – доктор технічних наук, генеральний директор ДП «ЕС ЕНД ТІ УКРАЇНА» (Україна, м. Київ).

Любіч Олександр Олексійович – доктор економічних наук, професор, заслужений економіст України, завідувач відділу Державної навчально-наукової установи «Академія фінансового управління» (Україна, м. Київ).

Миرونцов Микита Леонідович – доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Остапенко Яна Олександрівна – кандидат економічних наук, доцент кафедри статистики та математичних методів в економіці Університету державної фіскальної служби України (УДФСУ) (Україна, Київська обл., м. Ірпінь).

Поденко Аліна Андріївна – магістр, випускник кафедри інформаційної безпеки фізико-технічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ІТ-спеціаліст ТОВ «Inter Cars Ukraine» (Україна, м. Київ).

Стефанишин Дмитро Володимирович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, професор кафедри гідротехнічних споруд Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (Україна, м. Рівне).

Тихонов Юрій Леонтійович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра ІТС, ДЗ "Луганський національний університет імені Тараса Шевченка" (ЛНУ) (Україна, м. Старобільськ).

Ткач Володимир Миколайович – кандидат економічних наук, доцент кафедри інформаційної безпеки фізико-технічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна, м. Київ).

Триснюк Василь Миколайович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Трофимчук Олександр Миколайович – член-кореспондент НАН України, професор, доктор технічних наук, директор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Інституту економіки і прогнозування НАН України.

© Авторские и смежные права принадлежат авторам отдельных публикаций, Институту телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Институту кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Институту экономики и прогнозирования НАН Украины.

Copyright © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Institute for Economics and Forecasting of NAS of Ukraine. All rights reserved.

ДО УВАГИ АВТОРІВ ЖУРНАЛУ

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню журналу. Тематика журналу стосується математичного моделювання у всіх сферах господарської діяльності, тобто, економіки в її широкому розумінні.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова трьома мовами (українською, російською та англійською). Також трьома мовами подаються реферати до статті, які будуть розміщені в електронному варіанті журналу «Математичне моделювання в економіці» на сайті журналу.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються. Автору надсилається відповідне повідомлення. Матеріали, отримані від автора, редакцією не повертаються. Після доопрацювання автор може подати матеріал повторно, з виконанням усіх процедур подачі матеріалу.

Статті, що були представлені в редакцію і прийняті після рецензування, але не попали в поточний номер журналу, будуть надруковані в наступних номерах журналу.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами журналу, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ журналу, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником.

Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія журналу.

Електронна версія журналу, правила оформлення та вимоги до статей, зміни і доповнення до тематичних розділів будуть оперативно подаватися в Інтернеті на сайті журналу «Математичне моделювання в економіці» www.mmejournal.in.ua

Журнал також представлений на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність».

Виконавчий редактор – О.О. Кряжич, канд. техн. наук.

Надруковано:

Видавничий дім «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36.
Тел.: (044) 360-22-66
Реєстраційне свідоцтво НБ № 153324 від 05.11.2012 р.

Підписано і здано до друку **23.03.2018**. Формат 70X108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 20.2
Обл.-вид. арк. 17.3 Тираж 300 примірників Замовлення №
