Друковане видання ISSN 2616-6437
Онлайн видання ISSN 2708-9746

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВАДИМА ГЕТЬМАНА

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

Моделювання та інформаційні системи в економіці

Збірник наукових праць

Заснований у 1965 р.

№ 101

Головний редактор *О. Є. Камінський*

КНЕУ 115 РОКІВ КИЇВ 2021

УДК 311:519.2:519.86

Редакційна колегія

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

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

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

Засновано в Міністерстві юстиції України
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 11718-589Р від 11.09.2006

Рекомендовано до друку Вченою радою КНЕУ
Протокол № 4 від 25.11.2021 р.

Редактор *І. Савлук*
Художник обкладинки *Т. Зябліцева*
Коректор *Н. Підлужна*
Верстка *М. Криворученко*

Підписано до друку 01.12.21. Формат 60×84/16. Папір офсет.
Гарнітура Тип Таймс. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 11,62.
Обл.-вид. арк. 13,23. Наклад 50 пр. Зам. № 21-5705.

Державний вищий навчальний заклад
«Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»
03680, м. Київ, проспект Перемоги, 54/1
E-mail: litera_kneu@ukr.net

© КНЕУ, 2021

ЗМІСТ

Агутін М.М. Моделювання процесу управління інструментами цифрового маркетингу. 5
Батечко Н.Г., Ващаєв С.С., Лютий О.І. Методологія системного аналізу політики кібербезпеки в цифровому суспільстві 11
Бєгун А.В., Плахтій М.О., Осипова О.І., Урденко О.Г. Аналіз зовнішніх та внутрішніх загроз функціонування електронного квитка на видовищні заходи 20
Гладка Ю.А., Кінаш А.В., Харкянен О.В. Про моделювання одного класу динамічних процесів 32
Джалладова І.А., Ружечкова М., Дацюк М.В. Немарковські процеси: постулати та модельні проблеми 43
Дем'яненко В.В., Череда І.А. Автоматизація логістичних бізнес-процесів диспетчеризації автотранспорту на промислових підприємствах 56
Єрешко Ю.О., Камінський О.Є. Варіації екосистем синергетичного розвитку ключових інноваційних економічних агентів 65
Камінський О.Є., Дем'яненко В.В., Дем'яненко О.В. Моделювання процесів побудови та розгортання хмарних сервісів. 81
Катуніна О.С., Кваша Н.С. Прогнозне моделювання рівня інфляції в Україні на базі інструментів машинного навчання 93
Корольов А.П., Рибка С.В., Мацаєнко А.М., Варава І.А. Програмний засіб для проектування цифрових фільтрів «дизайнер смугових фільтрів на основі частотної вибірки. 117
Піскунова О.В., Лігоненко Л.О., Клочко Р.С., Білик Т.О. Логлінійний аналіз предикторів інвестиційного успіху стартапів в Україні 127
Труш М.С., Труш О.В., Радзівілов Г.Д., Толюпа С.В. Механізм управління системою економічної безпеки підприємства. 146
Щедріна О.І. Цифрові технології для трансформації бізнесу 161
Юнькова О.О., Володько Т.О. Прогнозування популярності Інтернет-курсів методами машинного навчання. 169
Юнькова О.О., Кучер П.В. Моделювання та прогнозування товарних ринків на основі методу декомпозиції 182
Інформаційне повідомлення 192

CONTENTS

Agutin M.M. Modelling of digital marketing tools management process . . . 5
Batechko N.G., Vashchaiev S.S., Liutyj O.I. Methodology of system analysis of cyber security policy in digital society 11
Biehun A.V., Plakhtiy M.O., Osypova O.I., Urdenko O.G. The analysis of external and internal threats of electronic ticket functioning at entertainment events 20
Gladka Y., Kinash A., Kharkianen O. About simulation of one class of dynamic processes 32
Dzhalladova I.A., Ruzickova M., Datsiuk M.V. Non-markov processes: postulates and models problems 43
Demianenko V.V., Chereda I.V. Automatization of logistical business-processes of transport dispatcherization on industrial enterprizes . . . 56
Yereshko Y.O., Kaminsky O.Y. Variations of ecosystems for key innovative economic agents synergistic development 65
Kaminsky O.Y., Demianenko V.V., Demianenko O.O., Modeling processes of building and deploying cloud services 81
Katunina O.S., Kvasha N.S., Forecast modeling of the inflation level in ukraine on the basis of machine learning tools. 93
Korolov A.P., Rybka S.V., Varava I.A., Matsaenko A.M. Software for design of digital filters “designer of bandpass frequency sampling filters”. 117
Piskunova O.V., Ligonenko L.O., Klochko R.S., Bilyk T.O. Log-linear analysis of startups investment success predictors in ukraine 127
Trush M.S., Trush O.V., Radzivilov G.D., Toliupa S.V. Management mechanism of the economic security system of the enterprise 146
Shchedrina O.I. Digital technologies for business transformation. 161
Yunkova O.O., Volodko T.O. Predicting the popularity of internet courses by machine learning methods 169
Yunkova O.O., Kucher P.V. Modeling and forecasting of commodity markets based on the decomposition method. 182
Information message 192

УДК 659.1 DOI 10.33111/mise.101.1

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

Agutin M.M., Candidate of Economic Science,
Associate Professor of Department of Computer Mathematics
and Information Security
SHEI KNEU named after V. Hetman

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ІНСТРУМЕНТАМИ ЦИФРОВОГО МАРКЕТИНГУ

MODELLING OF DIGITAL MARKETING TOOLS MANAGEMENT PROCESS

Анотація. *У статті розглянуто актуальні питання моделювання процесу управління, вибору та оптимізації використання інструментів цифрового маркетингу. Виділено основні характеристики інструментів цифрового маркетингу та особливості їх використання. Наведено класифікацію інструментів цифрового маркетингу: маркетинг у мобільних мережах, пошукова оптимізація, маркетинг та управління репутацією у соціальних медіа, листи розсилки, контент-маркетинг. Визначено ключові показники та фактори проведення рекламних компаній з використанням цифрових інструментів: кількість відвідувачів і покупців, джерела переходів за рекламними гіперпосиланнями, відсоток відмов від покупки та кількість повторних переходів відвідувачів. Метою статті є використання математичного моделювання для оптимізації використання бюджету цифрового маркетингу для досягнення маркетингових цілей підприємства. Під час розрахунків рекламного бюджету враховуються: прибутковість застосування того чи того інструменту цифрового маркетингу, ризик втрати доходу, як середньоквадратичне відхилення очікуваної доходності, частка вкладених коштів у той чи той інструмент маркетингу, кореляційний коефіцієнт їх взаємного впливу, часові періоди здійснення маркетингових акцій, обмеження бюджету інструментів цифрового маркетингу. Новим науковим результатом є використання портфельного підходу до управління інструментами цифрового маркетингу за умов обмеженого рекламного бюджету з урахуванням економічного ризику та взаємозв'язку між цими інструментами. Розроблені рішення щодо процесу вибору інструментів цифрового маркетингу та просування Веб-проєкту можуть бути використані для побудови інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень для вибору оптимального розподілу рекламного бюджету серед різних інструментів маркетингових комунікацій. Отримана математична модель може бути використана комерційними рекламними агенціями, Інтернет-представництвами компаній для дослідження взаємозв'язку між каналами цифрового маркетингу та вибору оптимальних рішень щодо розподілу рекламного бюджету.*
Ключові слова: *інструменти цифрового маркетингу, математичне моделювання бюджету реклами, процес управління цифровим маркетингом.*

© М. М. Агутін, 2021

Abstract. *The article considers topical tasks of modeling the processes of management, selection and optimization of the use of digital marketing tools. The main characteristics of digital marketing tools and features of their use are highlighted. The classification of digital marketing tools is given: marketing in mobile networks, search engine optimization, marketing and reputation management in social media, mailing lists, content marketing. The key indicators and factors of advertising campaigns using digital tools are identified: the number of visitors and buyers, the sources of conversions on advertising hyperlinks, the percentage of refusals to purchase and the number of repeated conversions of visitors. The aim of the article is to use mathematical modeling to optimize the use of digital marketing budget to achieve marketing goals of the enterprise. The calculations of the advertising budget take into account: the profitability of a digital marketing tool, the risk of loss of income as the standard deviation of the expected return, the share of investments in a marketing tool, the correlation coefficient of their mutual influence, time periods of marketing campaigns, restrictions digital marketing tools. A new scientific result is the use of a portfolio approach to the management of digital marketing tools with a limited advertising budget, taking into account the economic risk and the relationship between these tools. The developed solutions for the process of selecting digital marketing tools and promoting the Web project can be used to build an information-analytical decision support system to select the optimal distribution of the advertising budget among the various marketing communication tools. The resulting mathematical model can be used by commercial advertising agencies, online representative offices of companies to study the relationship between digital marketing channels and select the best solutions for the distribution of advertising budget.*
Keywords: *digital marketing tools, mathematical modeling of advertising budget, digital marketing management process.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Перманентний розвиток електронного бізнесу та цифровізація суспільства потребують нових поглядів на використання інструментів цифрового маркетингу під час просування Веб-проєктів. Динамічність і комплексність задач такого типу вимагає поєднання моделей, технологій та інструментів для поетапного виконання рекламних кампаній, всебічної оцінки та порівняння отриманих результатів від використання засобів реклами та проведення заходів цифрового маркетингу. Оптимальний розподіл бюджету цифрового маркетингу є необхідною умовою досягнення ключових факторів успіху підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичним питанням аналізу ефективності використання реклами та інструментів цифрового маркетингу присвячено багато наукових досліджень. Значний внесок утеоретичну базу концепції цифрового маркетингу зробили вчені Р. Акерман, Р. Голдсміт, С. Дібб, Е. Морданова, С. Сеті, В. Рубан [2] тощо. Математичну модель максимізації прибутку від здійснення рекламних заходів за умови обмеженого бюджету розглядали Дем'яненко В.В. і Потапенко С.Д. [1]; проте в роботі недостатньо уваги приділено цифровим джерелам прибутковості просування Веб-проєктів.

Різноманітність наукових поглядів на вирішення питання ефективності інструментальних засобів цифрового маркетингу залишає достатньо простору для вивчення особливостей використання інструментів цифрового маркетингу в організаціях різних форм власності.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Оптимізація бюджету цифрового маркетингу за допомогою математичного моделювання в комплексі задіяних інструментів та з урахуванням допустимого ризику дозволить досягти найбільшого ефекту під час здійснення рекламних і маркетингових заходів, виявити найсприятливіші канали та інструменти здійснення заходів цифрового маркетингу. Розроблена математична модель удосконалює математичні моделі рекламного просування Веб-проєкту [3], дозволить зважено підходити до планування бюджету цифрового маркетингу.

Основною метою статті є побудова математичної моделі управління інструментами цифрового маркетингу для досягнення економічних цілей підприємства за умов обмежень бюджету та припустимого фінансового ризику здійснення заходів цифрового маркетингу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Просування Веб-ресурсу в мережі Інтернет є багатокроковим і довготривалим завданням, яке враховує стадії практичної роботи з внутрішніми та зовнішніми факторами, що впливають на розміщення Веб-ресурсу в каталогах-рейтингах і результатах видачі пошукової системи. Модель просування Веб-ресурсу включає етапи аналізу поточної ситуації, визначення цілей з урахуванням поточного позиціонування, засоби збільшення рейтингу Веб-ресурсу , формування етапів і кроків, які необхідно запровадити для досягнення довготривалих цілей.

Цифровий маркетинг включає всі типи сучасного маркетингу, які використовують електронні пристрої, пов’язані з Інтернетом. Бренди та організації виграють завдяки цифровим каналам, запроваджуючи зміни та трансформацію — проривні інновації та креативність для організації цифрових каналів просування за допомогою засобів та інструментів веб-пошуку, Веб-сайтів, електронної пошти, мобільних пристроїв і додатків тощо для створення інтерфейсу та організації взаємодії лояльними клієнтами та створення нових потенційних клієнтів.

Принципова різниця між цифровим маркетингом і звичайним просуванням Веб-ресурсу полягає в тому, що автоматизовані заходи з просування та цифрові рекламні кампанії здійснюються ви-

ключно через передові канали, і це дає рекламодавцям більше контролю, пристроїв та інформації для аналізу поточної ситуації на ринку.

До основних інструментів цифрового маркетингу відносять:

- маркетинг у соціальних мережах (SMM — Social media marketing, маркетинг у соціальних мережах, SERM — Search engine reputation management, управління репутацією у соціальних мережах);
- пошукову оптимізацію та маркетинг у пошукових системах;
- реклама з оплатою за дію, або клік (CPA — cost-per-action, CPC — cost-per-click);
- листи розсилки e-mail і поштовий маркетинг, найчастіше використовується для нагадування лояльним клієнтам про новинки продукції, знижки та бонуси;
- мобільний маркетинг;
- контент-маркетинг, призначений для підвищення рівня впізнаваності бренду.

Одним із засобів цифрового маркетингу є контент-маркетинг. Контент-маркетинг використовується як інструмент впливу та спілкування з цільовою аудиторію засобами цифрових комунікацій і соціальних мереж. Контент-маркетинг допомагає краще, швидше та достовірніше звертатися до цільових груп. Використання контент-маркетингу сприяє, серед іншого, підвищенню лояльності клієнтів, зміцненню іміджу компанії , покращує охоплення та можливість пошуку в Інтернеті, підвищує довіру до бренду та дозволяє компаніям переконувати завдяки ноу-хау, досвіду та пристрасті.

Основними показниками ефективності інструментів цифрового маркетингу для Веб-ресурсу вважаються:

- кількість відвідувачів Веб-ресурсу,
- кількість переходів до сайту за прямими гіперпосиланнями з соціальних мереж,
- відсоток відмов від тривалого перегляду Веб-ресурсу чи запропонованої ключової дії відвідувача,
- глибина перегляду Веб-ресурсу (кількість сторінок, які відвідувач відкрив підчас останнього візиту);

Але кінцевим показником, який визначає ключовий ефект для підприємства від запровадження інструментів цифрового маркетингу чи проєкту просування Веб-ресурсу, є прибуток від збільшення кількості покупців

Модель оптимізації вкладень в інструменти цифрового маркетингу можна розглядати як задачу розподілу обмеженого маркетингового бюджету на проведення рекламних заходів з різними показниками очікуваного ефекту.

У такому випадку ризик неуспішності проведення заходів цифрового маркетингу оцінюється за формулою середньоквадратичного відхилення очікуваної доходності інструментів маркетингу:

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{N}(p_t - \overline{p})}{N-1}}, \quad (1)$$

де p_t — рівень доходності інструменту цифрового маркетингу за t-ий період часу, $t \in \overline{(1, N)}$., N — кількість періодів часу;
$\bar{p}$ — математичне сподівання доходності інструменту цифрового маркетингу, яке обраховується за формулою :

$$p = \frac{\sum_{t=1}^{N} p_t}{N}. \quad (2)$$

Канали просування Веб-ресурсу як інструменти цифрового маркетингу можуть бути взаємопов'язані. Значення зв'язку між окремими каналами цифрового маркетингу обчислюється за допомогою коефіцієнта кореляції :

$$corr_{i\,j} = \frac{\sum_{t=1}^{N}(p_i^t - \overline{p_i})(p_j^t - \overline{p_j})}{N-1}, \quad (3)$$

де $\bar{p}_i$ та $\overline{p_j}$ — математичне сподівання прибутковості i-го та j-го інструментів цифрового маркетингу, яке розраховується за формулою (2).

Економічний ризик комплексу інструментів цифрового маркетингу визначається за формулою:

$$R_p = \sum_{i=1}^{k} {P_i}^2 {D_i}^2 + 2\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{K} w_i w_j\, corr_{ij}, \quad (4)$$

де P_i — прибутковість i-го інструменту цифрового маркетингу; Di — ризик використання i-го інструменту; w_i та w_j — частка i-го та j-го інструментів цифрового маркетингу, $i \in \overline{(1, k)}$, $j \in \overline{(1, k)}$;

У цьому випадку математична модель максимізації прибутку проєкту впровадження інструментів цифрового маркетингу за умов за обмеження допустимого ризику D_p отримує такий вигляд:

$$\sum_{j=1}^{k} \overline{P_j} w_j \rightarrow max, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{k} {P_i}^2 {D_i}^2 + 2\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{K} w_i w_j\, corr_{ij} \leq D_p^2, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{k} w_j = 1 \ . \quad (8)$$

Рівень деталізації використання інструментів цифрового маркетингу та їх часток у сукупному бюджеті може залежати від розміру проєкту та характеру заходів цифрового просування. Комплекс заходів, як було зазначено раніше, може включати засоби пошукової оптимізації та просування Веб-проєкту, контент-менеджмент, листи розсилки, а також засоби мобільного цифрового маркетингу, мультимедійної офлайн-реклами тощо. Серед переваг запропонованої математичної моделі слід відзначити врахування взаємозв'язку прибутковості різних інструментів просування Веб-проєкту. Це означає, що постійні зміни, які відбуваються при використанні тих чи тих каналів цифрового маркетингу впливають на вдосконалення маркетингової стратегії та відображаються в цілому на всьому Веб-проєкті.

Удосконалення запропонованої математичної моделі управління інструментами цифрового маркетингу може бути здійснено за рахунок введення нових змінних, обмежень чи урахування особливостей використання тих чи тих інструментів цифрового маркетингу. Адже успішність застосування інструментів маркетингу залежить від великої кількості чинників, горизонту часу та попередньо прийнятих рішень, а також від вимірів ключових показників ефективності діяльності Веб-представництва компанії чи Інтернет-магазину.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Запропонована математична модель управління інструментами цифрового маркетингу може бути корисною для науковців-дослідників з питань маркетингу, фахівців і менеджерів з маркетингу для розуміння важливості зваженого підходу до обрання інструментів маркетингового просування, перевірки рекламних стратегій і моніторингу поточної ситуації щодо використання бюджетів на маркетингові та рекламні заходи з просування товарів, послуг і бренду. Подальшим розвитком математичної моделі процесу управління інструментами цифрового маркетингу вбачається створення програмного рішення з бізнес-аналізу витрат і прибутків на здійснення заходів цифрового маркетингу з урахуванням практичних результатів підприємства та нових чинників Інтернет-середовища.

Бібліографічні посилання

1. Галіцин В. К., Суслов О. П., Дем'яненко В. В., Потапенко С. Д. Математичні моделі та інформаційні технології управління рекламною діяльністю. Монографія. Івано–Франківськ, ПВНЗ «Галицька Академія», 2009. 144 с.

2. Рубан В.В. Цифровий маркетинг: роль та особливості використання. *Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії*. 2017. Вип. 2–2(08). С. 20–25.

3. Агутін М. М. Математичне моделювання рекламного просування веб-проекту / Агутін М. М., Дем'яненко В. В., Потапенко С. Д. *Моделювання та інформаційні системи в економіці : зб. наук. пр.* МОН України, ДВНЗ «Київ. нац.екон. ун-т ім. Вадима Гетьмана». Київ : КНЕУ, 2020. Вип. 100. С. 29–38.

4. Simon Kingsnorth, Digital marketing strategy: an integrated approach to online marketing, Kogan Page Publishers, 2019.

Статтю подано до редакції 16.11.2020

УДК: 355.451:004.7 DOI 10.33111/mise.101.2

Батечко Н.Г. д. педаг. наук, к. фіз. – мат. наук, доцент,
професор кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Ващаєв С.С. к.е.н., доцент,
доцент кафедри математичного моделювання та статистики,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Лютий О.І. к.т.н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Batechko N.G., Doctor of Sciences in Pedagogy, PhD in Mathematics,
Professor of the Department of Computer Mathematics
and Information Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Vashchaiev S.S., PhD in Economics,
Associate Professor of the Economic
and Mathematical Modelling Department,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Liutyj O.I., Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Computer Mathematics
and Information Security Department,
SHEI KNEU named after V. Hetman

МЕТОДОЛОГІЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ПОЛІТИКИ КІБЕРБЕЗПЕКИ В ЦИФРОВОМУ СУСПІЛЬСТВІ

METHODOLOGY OF SYSTEM ANALYSIS OF CYBER SECURITY POLICY IN DIGITAL SOCIETY

Анотація. *Сучасна безпекова ситуація як в Україні, так і у світі щороку суттєво змінюється з'являються нові загрози та виклики, які все важче долати на локальному рівні. У статті запропоновано та обґрунтовано концепцію, яка на думку авторів, для того, щоб зрозуміти та виокремити*

© Н. Г. Батечко, С. С. Ващаєв,
О. І. Лютий, 2021

фактори, які зумовлюють виникнення та загострення кіберзагроз варто підійти до вивчення проблеми за допомогою системного аналізу, розглядаючи кібернетичну безпеку як складне системне утворення зі складними зовнішніми та внутрішніми зв'язками. Кібербезпека подається як системне утворення. Дослідження у сфері системного аналізу надають змогу виокремити наукові підходи щодо феномену кібербезпеки безпосередньо та поліпшити її реалізації, зокрема. Актуальним є як кібернетичний (структуралістський) підхід, коли особлива увага приділяється структурним характеристикам досліджуваної системи, так і підхід, відповідно до якого є важливими і функції, притаманні системі, як: відкритість, лінійність чи, наприклад, стаціонарність. У роботі сучасними методами системного аналізу подано методологію кібербезпеки, як багатогранного утворення, невід'ємного складника національної безпеки. Ця складова частина характеризує стан захищеності національних інтересів від зовнішніх і внутрішніх загроз в інформаційній сфері. Водночас, аналіз подано із застосуванням логіко-структурних зв`язків, що поєднують інформаційно-психологічні та інформаційно-технологічні підсистеми кібербезпеки.
Ключові слова: *кібербезпека; кібервійна; системний аналіз; цифрове суспільство; соціологія знання*

Abstract. *The process of formation of the digital society has become one of the most global processes of mankind for the entire period of its existence. The current security situation in both Ukraine and the world is changing significantly every year, new threats and challenges are emerging that are increasingly difficult to overcome at the local level. The article proposes and substantiates the concept, which according to the authors, in order to understand and identify the factors that cause the emergence and exacerbation of cyber threats should approach the study of the problem through systems analysis, considering cyber security as a complex system with complex external and internal connections. languages.*

Cybersecurity is presented as a systemic entity. Research in the field of systems analysis makes it possible to identify scientific approaches to the phenomenon of cybersecurity directly and improve its implementation, in particular. Both the cybernetic (structuralist) approach, when special attention is paid to the structural characteristics of the system under study, and the approach according to which the functions inherent in the system, such as openness, linearity or, for example, stationarity, are important, are relevant. The modern methods of system analysis present the methodology of cybersecurity as a multifaceted entity, an integral part of national security. This component characterizes the state of protection of national interests from external and internal threats in the information sphere. At the same time, the analysis is presented with the use of logical-structural connections that combine information-psychological and information-technological subsystems of cybersecurity.
Keywords: *cybersecurity; cyberwar; system analysis; didgital society; sociology of knowledge*

Вступ. Процес формування цифрового суспільства став одним із найглобальніших процесів людства за весь період його існування. Утім, небачене досі поширення інформаційно-комунікаційних технологій, окрім очевидних переваг, призвело до низки проблем, зумовлених дедалі більшою вразливістю інформаційного простору щодо стороннього впливу. Останнім часом в Україні все частіше вчиняються масштабні злочини інформаційного характеру, які загрожують сталому та безпечному функціонуванню інформаційно-комуніка-

ційних систем, а отже загрожують економічний, політичній, духовній життєдіяльності суспільства. Про високий рівень загроз у кібернетичному просторі України свідчать результати дослідження відомого німецького оператора Deutsche Telecom: Україна знаходиться на четвертій сходинці світового рейтингу — об'єктів і джерел кібернетичних атак [2]. Тому, цілком природньо постала необхідність створення надійної системи кібернетичної безпеки, яка б уможливила контроль та врегулювання відносин в інформаційному просторі та й в цифровому суспільстві загалом.

Зауважимо, що сучасна безпекова ситуація як в Україні, так і у світі щороку суттєво змінюється з'являються нові загрози та виклики, які все важче долати на локальному рівні. У результаті відсутності дієвої системи забезпечення інформаційної безпеки у національному інформаційному просторі України спостерігається велика кількість негативних явищ, які створюють реальні та приховані загрози інформаційній безпеці громадянина, суспільству та державі [1]. Тому, все більшої актуальності набуває створення ефективної кібербезпекової політики, яка б враховувала ці аспекти та уможливила б системне бачення досліджуваної проблеми.

Політика кібербезпеки держави як підсистема національної безпеки держави. Кібербезпека, як багатогранне утворення, є невід'ємним складником національної безпеки, оскільки характеризує стан захищеності національних інтересів в інформаційній сфері від зовнішніх і внутрішніх загроз. Водночас, варто вказати на інформаційно-психологічні та інформаційно-технологічні системи кібербезпеки, як складові національної безпеки держави. Кібербезпека є інтегрованою складовою національної безпеки (рис. 1) поряд з політичною, економічною, екологічною, військовою, гуманітарною.

Розуміння ролі і значення кібербезпеки в системі національної безпеки України уможливить передбачення кіберзагроз, як внутрішніх, так і зовнішніх. Як влучно висловився 37-й Президент Сполучених Штатів Америки: "Один долар, вкладений в інформацію і пропаганду, цінніший, ніж 10 доларів, вкладених у створення систем зброї, бо остання навряд чи буде вжита, в той час як інформація працює щохвилинно і повсюдно".

Як стверджують фахівці корпорації Gartner: витрати на інформаційну безпеку у світі щорічно зростають приблизно на 8,2 %. За їх прогнозами у 2020 році їх обсяг мав сягнути 170 млрд дол. США [2]. Забезпечення інформаційної безпеки завдяки послідовній, грамотно сформульованій національній стратегії у свою

чергу може сприяти забезпеченню досягнення успіху при вирішенні завдань у політичній, військовій, соціальній, економічних та інших сферах і зможе суттєво вплинути, на нашу думку, на розв'язання внутрішньополітичних, зовнішньополітичних і військових конфліктів.

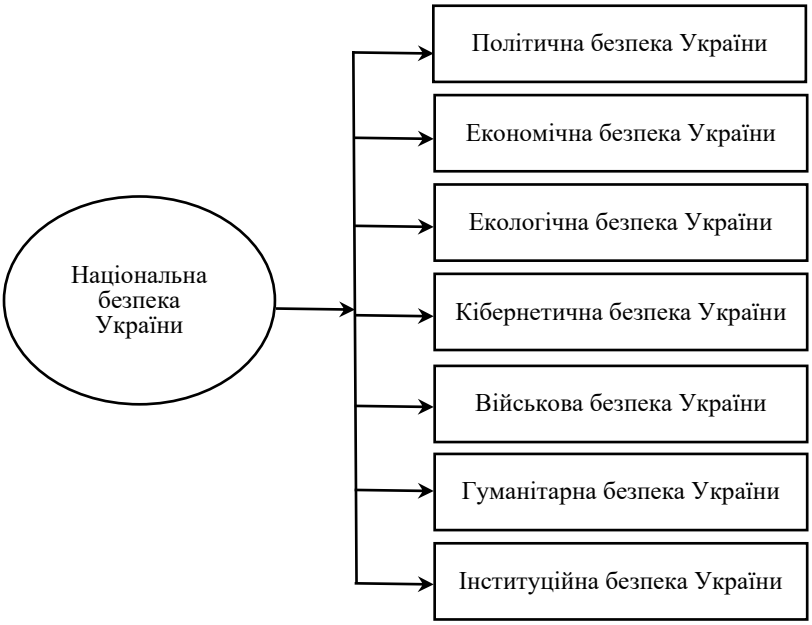


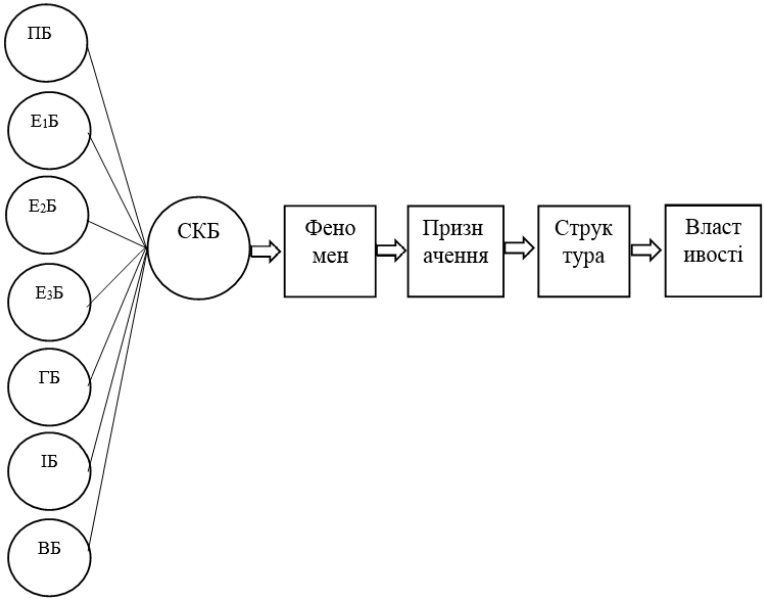
Рис. 1. Кібербезпека України
як складова національної безпеки держави

На думку авторів, для того, щоб зрозуміти та виокремити фактори, які зумовлюють виникнення та загострення кіберзагроз, варто підійти до вивчення проблеми за допомогою системного аналізу, розглядаючи кібернетичну безпеку як складне системне утворення зі складними зовнішніми та внутрішніми зв'язками.

Основні результати. Кібербезпека як системне утворення. Дослідження у сфері системного аналізу надасть змогу виокремити наукові підходи щодо феномену кібербезпеки безпосередньо та поліпшити її реалізації, зокрема. Зауважимо, що для нас буде актуальним як кібернетичний (структуалістський) підхід, коли особлива увага приділяється структурним характеристикам досліджуваної системи, так і підхід, відповідно до якого є важли-

вими і функції, притаманні системі, як от: відкритість, лінійність чи, наприклад, стаціонарність.

Використаємо основні класичні системні принципи: цілісність, структурність, ієрархічність, множинність опису, взаємозалежність системи і середовища. Оскільки кібербезпека тісно пов'язана з іншими структурними компонентами національної безпеки, то вважаємо, що саме ці зовнішні взаємозв'язки і формують феномен системи кібербезпеки, її призначення, структуру та властивості (рис. 2).



ПБ — політична безпека
E_1Б — економічна безпека
E_2Б — економічна безпека
E_3Б — енергетична безпека
ГБ — гуманітарна безпека
ІБ — інституційна безпека
ВБ — військова безпека
СКБ — система кібербезпеки

Рис. 2. Формування системи кібербезпеки

З позицій системно-структурного підходу дослідимо послідовні аспекти та закономірності створення системи кібербезпеки, які обумовлять основні принципи її подальшого функціонування. З'ясуємо спочатку феномен системи кібербезпеки, тобто її тип і внутрішню сутність.

Система кібербезпеки є відкритою, оскільки постійно мати контакт з довкіллям, іншими структурними компонентами національної безпеки (рис. 2), обмінюється з ними інформацією та енергією. У ній відбувається постійний динамічний рух, відчувається надходження зовнішньої енергії у вигляді позитивних факторів і деструктивних імпульсів, таких як кіберзагрози. Таке тлумачення системи кібербезпеки є надзвичайно важливим, оскільки: в замкнених системах з великою кількістю елементів виконується другий закон термодинаміки, сутністю якого є той факт, що ентропія S (міра хаоса) з часом зростає чи залишається сталою:

$$\Delta S \geq 0,$$

тобто хаос у замкненій системі не зменшується, а може лише зростати. Зауважимо, що всі штучно створені системи можна вважати відкритими, оскільки в них діють суб'єктивні закони, принципи та правила. Саме властивість відкритості, на нашу думку, дозволяє еволюціювати системі кібербезпеки, розгортати програму ієрархічного зростання, обмінюючись енергією, інформацією з іншими рівнями своєї еволюції та навколишнім середовищем.

Завдяки відкритості та обміну з навколишнім середовищем, постійне надходження зовнішньої енергії у вигляді кіберзагроз спочатку стимулюють її розвиток. Проте постійна стохастичність і мінливість призводить до появи флуктуацій і явищ біфуркацій. Так, зокрема, І.А. Пригожин вважає, що всі такі системи містять підсистеми, котрі постійно флуктуюються. Справді, постійний обмін інформацією призводить до появи, спочатку, незначних кіберзагроз. Проте, іноді, окрема флуктуація або їх комбінація можуть стати настільки сильними, що попередня організація системи не витримує і руйнується. Ми всі неодноразово були свідками руйнування ІТ-комплексів унаслідок потужних атак хакерів як на рівні окремого підприємства, так і державних установ. У цей переломний момент, який ще називають точкою біфуркації, принципово неможливо передбачити, в якому напрямі буде розвиватися система: чи стане її подальше існування хаотичнішим, чи перейде на новий, вищий рівень організації, який І.А. Пригожин назвав дисипативною структурою [3]. Усі ці явища можна спостерігати у функціонуванні системи кібербезпеки.

Наведені міркування безпосередньо стосуються стійкості системи. Будемо вважати, що стан, траєкторія чи програма системи — нестійка, якщо довільні як завгодно малі відхилен-

ня від них з часом збільшуються. Якщо це має місце лише для деяких типів відхилень, то можна говорити про часткову нестійкість. Саме точки біфуркаціїї системи пов'язані з її нестійкими станами.

Таким чином, систему кібербезпеки можна вважати відкритою, динамічною системою, в якій відчувається нестійкий рух, обмін інформацією та енергією з оточуючим навколишнім середовищем у вигляді як позитивних факторів — лояльних інформаційних потоків, так і збурюючих — деструктивних, які несуть небезпеку і загрози стійкості системи та приводять її до біфуркаційних станів.

Стосовно призначення системи кібербезпеки (рис. 2), то варто вказати, що вона здатна ефективно протидіяти негативним проявам і деструктивним чинникам, виконуючи інформаційну, аналітико-праностичну та превективну функції.

Структурними компонентами системи кібербезпеки є: об'єкт безпеки, суб'єкт безпеки, механізм реалізації кібербезпеки в самій системі. Всі компоненти системи кібербезпеки пов'язані між собою прямими та зворотними зв'язками, мають певні рівні ієрархії, які можна дослідити за допомогою багаторівневого підходу [4].

Реалізація механізму забезпечення та функціонування кібербезпеки. Для розуміння функціонування системи кібербезпеки подамо її в умовній системі координат (рис. 3). За вісь ОЄ розглянемо періоди функціонування системи залежно від виникнення потенційних загроз і впливу деструктивних факторів. За вісь Оŋ розглянемо рівень стійкості системи кібербезпеки зазначеним фактором.

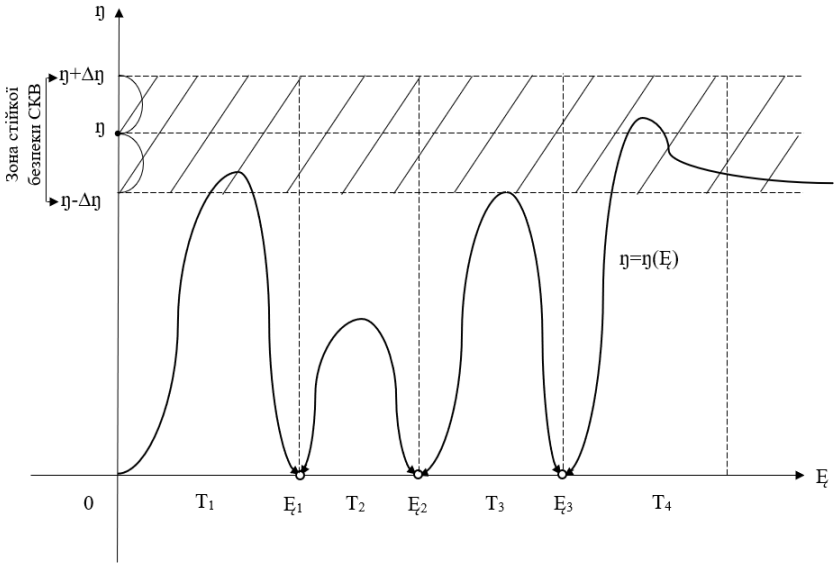
Період T_1 — характеризується надмірним функціонуванням системи кібербезпеки. Проте, внаслідок накопичення інформації та зростання хаосу виникають потенційні загрози, що призводить досить стійку систему в нерівноважений стан. У точці $Ę_1$ цього періоду система досягає біфуркаційного стану, в якому вона не лише довго перебуває і вимушена перейти в інший стан (період T_2).

Зауважимо, що на рис. 3 точку біфуркації $Ę_1$ ми показали як точку розриву досліджуваної функціональної залежності, вказуючи тим самим, що переходу до періоду T_2 може і не відбутися.

Підкреслюючи значимість точки, В.Г. Буданов зазначає, що лише в них можна несиловим, інформаційним способом, тобто як завгодно малою дією, вплинути на вибір поведінки системи, на її долю [5].

У період T_2 відбувається найбільший вплив на систему кібербезпеки зовнішніх дестабілізуючих факторів. Наростання хаосу призводить до руйнування системи та втрати як внутрішніх, так і

зовнішніх зв'язків між її компонентами та оточуючим середовищем. Суб'єкти безпеки у цей період оцінюють розміри заподіяної шкоди та підраховують суми завданих матеріальних, фінансових і соціальних збитків. На цьому етапі система кібербезпеки набуває нового біфуркаційного стану і відхилення її від зони стійкості є максимальним.



T_1 — період небезпеки та загроз у функціонуванні СКБ
T_2 — період витрат та завданих збитків у функціонуванні СКБ
T_3 — період стабілізації у функціонуванні СКБ
T_4 — період стійкої безпеки у функціонуванні СКБ

Рис. 3. Синергетична модель функціонування СКБ по періодах стійкості

Під час третього періоду відновлення всередині системи виникають осередки самоорганізації та дисипативні структури. Водночас вони зумовлюють побудову нових зв'язків між компонентами системи та зумовлюють її перехід до нового етапу розвитку. У цей період варто проаналізувати виявлені загрози, вивчити їх вплив на систему кібербезпеки загалом і всі її компоненти зокрема. Саме у цей період варто проводити стабілізаційні заходи, зокрема, на рівні держави, які б уможливили пом'якшення результатів впливу кіберзагроз. Сформулюємо отриманий результат у вигляді теореми:

Теорема. *У період T_4, унаслідок проведених стабілізаційних заходів система кібербезпеки входить у зону стійкої безпеки, в якій і залишається надалі:*

$$\lim_{E_i \to x} \eta(E_i) = \eta * \ .$$

У цей період стан кібербезпеки надає надійну захищеність життєво важливих інтересів держави: економічних, військових, екологічних і т.д., тобто усіх сфер життєдіяльності суспільства.

У цей період важливими є заходи на посилення аналітико-прогностичних досліджень, які б уможливили стабільний розвиток системи кібербезпеки.

Висновок. У роботі сучасними методами системного аналізу подана методологія кібербезпеки, як багатогранного утворення, невід'ємного складника національної безпеки. Ця складова частина характеризує стан захищеності національних інтересів від зовнішніх і внутрішніх загроз в інформаційній сфері. Водночас, аналіз подано із застосуванням логіко-структурних зв»язків, що поєднують інформаційно-психологічні та інформаційно-технологічні підсистеми кібербезпеки.

Бібліографічні посилання

1. Гаращенко Ю.В. Державна політика у сфері кібербезпеки в Україні. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Державне управління*. 2019. Том 30 (69). С. 140 — 145.

2. Микитенко Т.В., Петровська І.О., Рогов П.Д. Проблеми інформаційної безпеки суб'єктів господарювання в Україні та можливі шляхи їх вирішення в Укросучасних умовах. *Збірник наукових праць Центру воєнно — стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняховського*. 2014. №1. С. 24 –31.

3. Пригожин И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М.: Ком. Книга. 2008. 296 с.

4. Джалладова І., Батечко Н., Коломієць-Людвиг Є. Системний підхід до аналізу нормативно-правового забезпечення інформаційної безпеки. *Social Development & Security*. 2018. Vol. 7. №5. С. 3-20.

5. Буданов В.Г. Трансдисциплинарное образование, технологии и принципы синергетики. *Синергетическая парадигма: многообразие поисков и подходов: Сб. ст.* М. 2000. Прогресс-Традиции. С. 285-304.

Статтю подано до редакції 17.11.2021

УДК: 65.012.8 DOI 10.33111/mise.101.3

Бєгун А.В., к.е.н., професор,
професор кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Плахтій М.О., к.е.н.,
член української асоціації «UVCA» та громадської Ради
Державної служби інтелектуальної власності України,
директор ТОВ Front Manager
Осипова О.І., к.е.н., доцент,
доцент кафедри математичного моделювання та статистики,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Урденко О.Г., аспірант
кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Biehun A.V., PhD in Economics,
Professor of the Department of Computer Mathematics
and Information Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Plakhtiy M.O., PhD in Economics,
member of the Ukrainian Association "UVCA" and the Public Council
of the State Intellectual Property Service of Ukraine,
director of Front Manager LLC
Osypova O. I., PhD in Economics,
Associate Professor of the Department of Mathematical Modeling
and Statistics,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Urdenko O. G.,
Postgraduate Student of the Department of Computer Mathematics
and Information Security, SHEI KNEU named after V. Hetman

АНАЛІЗ ЗОВНІШНІХ ТА ВНУТРІШНІХ ЗАГРОЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО КВИТКА НА ВИДОВИЩНІ ЗАХОДИ

THE ANALYSIS OF EXTERNAL AND INTERNAL THREATS OF ELECTRONIC TICKET FUNCTIONING AT ENTERTAINMENT EVENTS

Анотація. *Діяльність з продажу електронних квитків повною мірою піддається, як традиційним бізнес-загрозам, так і загрозам електронної комерції, створеним технологіями електронного бізнесу та широким використанням комп'ютерних і телекомунікаційних технологій. Загрози при операціях з продажу електронних квитків виникають практично на всіх етапах діяльності та зачіпають інтереси як продавців, так і покупців. Тому для компаній, що займаються продажем електронних квитків, очевидна необхідність комплексних заходів щодо виявлення та моніторингу таких загроз. Вирішення проблеми протидії загрозам безпеки підприємств, що здійснюють продаж електронних квитків на розважальні заходи, пов'язане насамперед із вирішенням питань захисту використовуваних у ньому інформаційних технологій, тобто забезпечення інформаційної безпеки. Класифікація загроз інформаційній безпеці є важливим*

© А. В. Бєгун, М. О. Плахтій,
О. І. Осипова, О. Г. Урденко, 2021

етапом оцінки безпеки інформаційних систем та розробки заходів щодо забезпечення інформаційної безпеки підприємства. У даному дослідженні, яке має науково-методичний характер, класифіковано та систематизовано загрози, які супроводжують діяльність у сфері електронних квитків на розважальні заходи. Класифікація загроз інформаційній безпеці підприємств, що займаються продажем електронних квитків на розважальні заходи, здійснюється на основі поєднання таких критеріїв:
1) походження загрози: зовнішні та внутрішні загрози;
2) джерела загроз: загрози, викликані діяльністю людини; загрози, джерелом яких є програмне та апаратне забезпечення; загрози, які створює природне середовище;
3) намір реалізувати загрозу безпеці: навмисні та ненавмисні дії порушника.
Результати класифікації загроз інформаційної безпеки можуть бути в подальшому використані в процесі проведення аудиту інформаційної безпеки підприємства. Також у роботі розглянуто конкретні програмні рішення для проведення аудиту інформаційної безпеки підприємства.
Ключові слова: *електронні квитки, розважальні заходи, загрози інформаційної безпеки, аудит інформаційної безпеки*

Abstract. *E-ticketing activities are fully inherent in both traditional business threats and e-commerce threats posed by e-business technologies and the widespread use of computer and telecommunications technology. Threats in the sale of electronic tickets arise at almost all stages of activity and affect the interests of both sellers and buyers. Therefore, the need for comprehensive measures to identify and monitor threats is obvious to companies engaged in the sale of electronic tickets. The solution to the problem of counteracting the security threats of enterprises engaged in the sale of electronic tickets to entertainment events, primarily related to addressing the protection of information technology used in it, ie to ensure information security. The classification of threats to information security is an important step in assessing the security of information systems and the development of measures to ensure information security of the enterprise. In this study, which has a scientific and methodological nature, classified and systematized the threats that accompany the activities in the field of electronic tickets for entertainment events. The classification of threats to information security of enterprises engaged in the sale of electronic tickets to entertainment events is carried out on the basis of a combination of the following criteria:*
1. The origin of the threat: external and internal threats.
2. Sources of threats: threats caused by human activities; threats, the source of which are software and hardware; threats posed by the natural environment.
3. Intention to realize a security threat: intentional and unintentional actions of the violator.
The results of the classification of information security threats can be further used in the process of conducting an information security audit of the enterprise.
Specific software solutions for conducting an information security audit of the enterprise are also considered.
Keywords: *E-ticketing, entertainment events, threats of information security, information security audit*

Вступ. Протягом останніх десятиліть розвиток комп'ютерних технологій і розповсюдження використання Інтернету призвели до істотних змін у способах ведення бізнесу. Електронна комерція розвинулася як новий ринок, що створює можливості для зростання у багатьох галузях економіки. Індустрія дозвілля та розваг є однією з

таких галузей, оскільки з розповсюдженням Інтернету досить швидко почала впроваджувати продаж електронних квитків на видовищні заходи. Заміна традиційних паперових квитків електронними квитками виявилася ефективною комерційною практикою для підприємств, що працюють в індустрії дозвілля та розваг. Дійсно, електронний квиток — це чудовий інструмент економії коштів, оскільки він може знизити та навіть усунути витрати, пов'язані з друком, доставкою, зберіганням та продажем квитків. Також електронний квиток має ряд переваг порівняно з паперовим квитком для покупців — простота та швидкість купівлі, електронний квиток неможливо пошкодити, загубити тощо. Крім того інтеграція в квитковий бізнес електронних платежів і системи електронних замовлень дозволяє отримувати важливі маркетингові дані про смаки, споживчі переваги, цінності, доходи покупців. За допомогою IT-технологій і Big data аналітиці підприємства, що займаються продажем електронних квитків, можуть формувати докладні бази даних про своїх покупців, здійснювати електронну розсилку новин, надавати статистичні, візуальні і рекламні матеріали [1].

Однак, діяльності в сфері продажу електронних квитків в повній мірі притаманні як традиційні підприємницькі ризики, так і специфічні для електронної комерції ризики, породжені технологіями електронного бізнесу та широким застосуванням засобів комп'ютерної та телекомунікаційної техніки. Зокрема, такі ризики, як: ризик порушення конфіденційності інформації; ризик спотворення інформації; ризик втрати інформації; ризик збою інформації. Причини виникнення цих ризиків криються у специфічних загрозах електронної діяльності і включають у себе зовнішні (віруси і шкідливі програми; хакерські атаки; шахрайства; спам; загроза заволодіння інтелектуальною власністю правовласника) і внутрішні загрози (крадіжка інформації; саботаж; недостатній професіоналізм або недбалість співробітників). Таким чином, ризики в торгівлі електронними квитками виникають практично на всіх етапах діяльності і зачіпають інтереси як продавців, так і покупців. Тому необхідність проведення комплексних заходів щодо виявлення, управління та моніторингу загроз є очевидною для підприємств, що займаються продажем електронних квитків. І особливої актуальності дана проблема набуває зараз, коли індустрія видовищних заходів переживає глибоку кризу і тільки починає відновлюватись після півторарічного простою, спричиненого пандемією Covid-19 [2].

Тому метою даної роботи є ідентифікація та систематизація загроз, що супроводжують діяльність у сфері реалізації електронних квитків на видовищні заходи.

Для досягнення поставленої мети ми ставимо перед собою такі завдання:

1) ідентифікувати та класифікувати загрози, що супроводжують діяльність у сфері продажу електронних квитків на видовищні заходи;

2) дати коротку характеристику програмним інструментам IT-аудиту, що можуть бути використані підприємствами, які займаються реалізацією електронних квитків на видовищні заходи, з метою виявлення та протидії основних загроз.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання результатів проведеного дослідження в процесі аудиту інформаційної безпеки на підприємствах, що займаються продажем електронних квитків на видовищні заходи.

Загрози, що супроводжують діяльність у сфері продажу електронних квитків на видовищні заходи. Компанії у ході здійснення своєї професійної діяльності стикаються з різноманітними загрозами, які, так чи інакше, впливають, на ведення бізнесу, і негативно позначаються на фінансовому становищі організації. Сучасний стан справ бізнесу диктує необхідність використання в роботі компаній, обґрунтованих технічних і економічних методів і засобів, що дозволяють кількісно і якісно вимірювати загрози діяльності компанії, а також адекватно оцінювати фінансування витрат на заходи щодо протидії цим загрозам. Побудова практично будь-якої системи моніторингу загроз має починатися з ідентифікації можливих загроз: необхідно точно визначити, які умови і чинники можуть негативно вплинути на діяльність компанії і оцінити наскільки вони потенційно небезпечні. Класифікація загроз дає можливість структурувати всі потенційні загрози, обрати оптимальний варіант рішення на основі класифікаційних ознак, допомагає орієнтуватися в різноманітті існуючих загроз і є джерелом інформації про них [3].

Система продажу електронних квитків — це велика і складна система з величезною структурою і широким спектром загроз з усіх боків. Як уже було зазначено, діяльності в сфері продажу електронних квитків у повній мірі притаманні як традиційні підприємницькі ризики та загрози, так і специфічні для електронної комерції загрози, породжені технологіями електронного бізнесу та широким застосуванням засобів комп'ютерної та телекомунікаційної техніки.

Основними джерелами виникнення загроз, що супроводжують діяльність у сфері продажу електронних квитків на видовищні заходи, є [4]:

1) **зовнішнє бізнес середовище.** Цілком законні дії інших учасників бізнесу та зміни в зовнішньому бізнес-середовищі можуть загрожувати компанії. Прикладом загроз можуть бути зміни в поведінці клієнтів, ефективність роботи постачальників та обмінний курс;

2) **злочинна діяльність людей або організацій.** Сюди відносяться загрози, що пов'язані з тими особами чи організаціями, які з будь-якої причини мають намір займатися діяльністю, яка є незаконною (або, принаймні, неетичною) та потенційно руйнівною для бізнесу. Приклади таких дій включають: шахрайство, псування матеріальних цінностей компанії, відмову в обслуговуванні, вірусні атаки і т.д.;

3) **правова система.** Окрім нового законодавства, що запроваджується у відповідь на стрімкий розвиток електронного бізнесу, важливо пам'ятати, що всі звичні правила, що регулюють звичайну підприємницьку діяльність, також діють і для підприємств, що займаються електронною комерцією! Необхідно також враховувати законодавство інших країн, в яких компанія може здійснювати свою діяльність через канали електронного бізнесу;

4) **бізнес-стратегія підприємства.** Помилковий вибір основних напрямів діяльності, неможливість побудови ефективної комунікації з клієнтами та постачальниками, неефективна організація основних бізнес-процесів на підприємстві здатні породжувати ризики в підприємницькій діяльності;

5) **Менеджмент та персонал компанії.** Ще одним істотним джерелом ризиків є працівники компанії. Неефективний менеджмент, незрозумілі права та обов'язки, недосконала система управління персоналом, недостатня кваліфікація працівників є потенційними факторами ризику в компанії;

6) **технології.** Інформаційні та комунікаційні технології лежать в основі діяльності в сфері продажу електронних квитків. Клієнти, постачальники, співробітники і багато інших людей щодня використовують інформаційно-комунікаційні технології для купівлі або продажу електронних квитків. При цьому дані учасники відносин чекають дотримання конфіденційності та цілісності інформації, що надається ними.

Рішення проблеми протидії загрозам безпеки підприємств, що займаються діяльністю у сфері реалізації електронних квитків на видовищні заходи, в першу чергу пов'язано з вирішенням питань захисту інформаційних технологій, застосовуваних у ній, тобто із забезпеченням інформаційної безпеки.

У широкому сенсі під загрозою (взагалі) зазвичай розуміють потенційно можливу подію, процес або явище, які можуть (впливаючи на що-небудь) привести до нанесення збитку чиїмось інтересам.

Загрозою інтересам суб'єктів інформаційних відносин будемо називати потенційно можливу подію, процес або явище, які за допомогою впливу на інформацію, її носії та процеси обробки можуть прямо або побічно призвести до нанесення шкоди інтересам даних суб'єктів.

Джерело загрози — це потенційні антропогенні, техногенні або стихійні носії загрози безпеки.

Основними джерелами загроз інформаційній безпеці є:

• стихійні лиха і аварії (повінь, ураган, землетрус, пожежа тощо);

• збої і відмови в роботі устаткування (технічних засобів);

• помилки проектування і розробки компонентів програмних та апаратних засобів (апаратних засобів, технології обробки інформації, програм, структур даних і т.п.);

• помилки експлуатації (користувачів, операторів та іншого персоналу);

• навмисні дії порушників і зловмисників (скривджених осіб з числа персоналу, злочинців, шпигунів, диверсантів і т.п.).

Класифікація загроз інформаційної безпеки на підприємствах, що займаються реалізацією електронних квитків на видовищні заходи. Класифікація загроз інформаційній безпеці особливо важлива при оцінці захищеності інформаційних систем в реальних умовах експлуатації [5]. Усі загрози безпеки спрямовані проти програмних і технічних засобів інформаційної системи. В кінцевому підсумку, ці загрози впливають на безпеку інформаційних ресурсів і призводять до порушення основних властивостей зберігання та обробки інформації.

В роботах [5, 6] для класифікації загроз інформаційній безпеці запропоновано поєднувати такі критерії:

1) походження загрози: зовнішні та внутрішні загрози;

2) джерела загроз:

✓ загрози, що обумовлені людською діяльністю;

✓ загрози, джерелом яких є програмно-апаратні засоби;

✓ загрози, джерелом яких є природне середовище.

Джерелами 1-ї групи загроз безпеці інформації виступають суб'єкти, дії яких можуть бути кваліфіковані як умисні або випадкові злочини. Ця група найобширніша і представляє найбільший інтерес з точки зору організації захисту, так як дії суб'єкта завжди можна оцінити, спрогнозувати і прийняти адекватні заходи. Ме-

тоди протидії у цьому випадку керовані і безпосередньо залежать від волі організаторів захисту інформації.

Джерела загроз 2-ї групи менш прогнозовані, безпосередньо залежать від властивостей техніки і тому вимагають особливої уваги. Даний клас джерел загроз безпеці інформації є особливо актуальним у сучасних умовах, так як функціонування бізнесу, а особливо електронний бізнес, засновано на широкому використанні інформаційно-комунікаційних технологій.

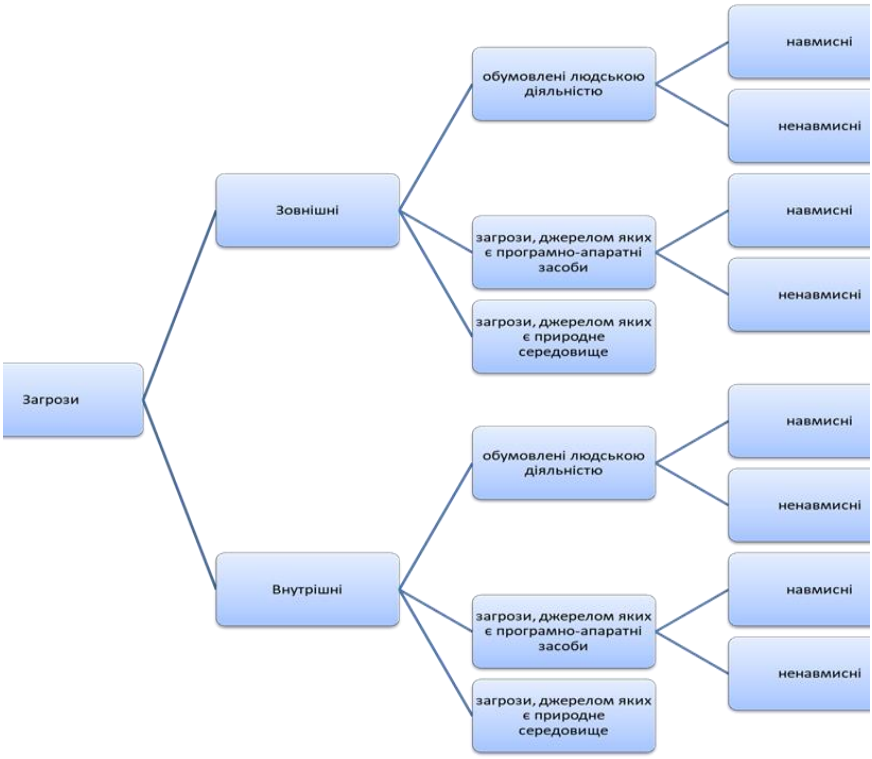


Рис. 1. Класифікація загроз інформаційної безпеки

Третя група джерел загроз об’єднує, обставини, що становлять непереборну силу, тобто такі обставини, які носять об’єктивний і абсолютний характер, поширюється на всіх. Такі джерела загроз майже не піддаються прогнозуванню і тому заходи захисту від них повинні застосовуватися завжди. Стихійні джерела потенційних загроз інформаційній безпеці, як правило, є зовнішніми по

відношенню до захищається і під ними розуміються, перш за все, природні катаклізми;

3) намір реалізувати загрозу безпеці:

✓ навмисні дії порушника;

✓ ненавмисні дії порушника.

Схематично такий процес класифікації загроз інформаційної безпеки подано на рис. 1

У табл. 1 наведено основні зовнішні загрози інформаційній безпеці підприємства, що займається реалізацією електронних квитків на видовищні заходи, залежно від джерела походження загрози.

Таблиця 1

ЗОВНІШНІ ЗАГРОЗИ ІНФОРМАЦІЙНІЙ БЕЗПЕЦІ ПІДПРИЄМСТВА, ЩО ЗАЙМАЄТЬСЯ РЕАЛІЗАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОННИХ КВИТКІВ НА ВИДОВИЩНІ ЗАХОДИ[1]

Загрози, що обумовлені людською діяльністю	**Загрози, джерелом яких є програмно-апаратні засоби**	**Загрози, джерелом яких є природне середовище**
✓ Несанкціонований продаж е-квитків третіми особами[1] ✓ Несанкціонована процедура верифікації е-квитків[1] ✓ Несанкціонований друк е-квитків[1] ✓ Хакерські атаки[1] ✓ Фішингові атаки[1] ✓ Вірусні атаки[1] ✓ Атака «жорсткою силою» [1] ✓ Впровадження SQL-коду[1] ✓ Міжсайтовий скріптінг[1] ✓ Блокування кошика на сайті продавця[1] ✓ Шахрайство з кредитними картками[1] ✓ DoS-атаки[1] ✓ Кіберсквотинг[1] ✓ Перехват веб-сторінки[1] ✓ Несанкціонований доступ до бази даних клієнтів заходу, модифікування даних у БД	✓ Перевантаження та зриви сайту чи мережі в пікові періоди[2] ✓ Збій в роботі інтернет-провайдеру[2] Ризик конфліктів із платіжною системою[2]	✓ Ушкодження/ поломка обладнання внаслідок настання форс-мажорних обставин природного характеру[2] ✓ Ушкодження/ знищення інформації внаслідок настання форс-мажорних обставин природного характеру[2] ✓ Пошкодження життєзабезпечуючих комунікацій (електропостачання, кондиціонування та вентиляція) внаслідок настання форс-мажорних обставин природного характеру[2]

[1] символом «[1]» позначено навмисні загрози, «[2]» — ненавмисні загрози, «[12]» — загрози, які можуть бути як навмисними, так і ненавмисними

У табл. 2 наведено основні внутрішні загрози інформаційній безпеці підприємства, що займається реалізацією електронних квитків на видовищні заходи, залежно від джерела походження загрози. Так як загрози, джерелом яких є навколишнє середовище, в основному є загрозами зовнішнього походження, в табл. 2 ця група загроз не представлена.

Таблиця 2

ВНУТРІШНІ ЗАГРОЗИ ІНФОРМАЦІЙНІЙ БЕЗПЕЦІ ПІДПРИЄМСТВА, ЩО ЗАЙМАЄТЬСЯ РЕАЛІЗАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОННИХ КВИТКІВ НА ВИДОВИЩНІ ЗАХОДИ[2]

Загрози, що обумовлені людською діяльністю	**Загрози, джерелом яких є програмно-апаратні засоби**
• Неправомірне відключення обладнання або зміна режимів роботи пристроїв і програм[12] • Псування носіїв інформації персоналом[12] • Нелегальне впровадження та використання програм[12] • Ігнорування організаційних обмежень (установлених правил) при роботі в системі[12] • Некомпетентне використання, настроювання або неправомірне відключення засобів захисту персоналом служби безпеки[12] • Пересилання даних за помилковою адресою абонента (пристрої) [12] • Введення помилкових даних[12]	• Відсутність брандмауера[12] • Втрата аудиторського сліду[12] • Використання неліцензійного програмного забезпечення[12] • Помилка чи упущення в розробці програмного забезпечення[12] • Порушення ідентифікації та авторизації[12] • Порушення захисту від зловмисного ПЗ[12] • Порушення в роботі допоміжних технічних засобів (охорони, сигналізації, телефонії) [12]

Результати класифікації загроз інформаційній безпеці в подальшому можуть використовуватись у процесі проведення аудиту інформаційної безпеки підприємства.

Далі розглянемо конкретні програмні рішення для проведення аудиту інформаційної безпеки підприємства.

Програмні інструменти IT-аудиту на підприємствах, що займаються реалізацією електронних квитків на видовищні заходи. Сьогодні інструменти аудиту стають усе важливішими для IT-аудитора. Наразі інструменти аудиту відіграють ключову роль у розумінні того, як функціонують інформаційні системи, адже IT-середовища, додатки, онлайн транзакції, тощо, стають дедалі складнішими та інтегрованими у всі сфери

[2] символом «[1]» позначено навмисні загрози, «[2]» — ненавмисні загрози, «[12]» — загрози, які можуть бути як навмисними, так і ненавмисними

діяльності підприємства. Відповідно для кожного IT-аудиту аудитор має чітко визначити, чи має він потребу у використанні спеціальних інструментів аудиту і головне — які саме інструменти аудиту варто використати для досягнення найкращих результатів. Офіційно спеціальні інструменти аудиту мають назву Інструменти і прийоми комп'ютеризованої підтримки аудиту (CAATTs) [7, 8].

Зважаючи на те, що CAATTs дозволяють аудитору аналізувати великі об'єми даних, IT-аудит на підприємствах, що займаються реалізацією електронних квитків із використанням CAATT дозволяє виконати комплексний аналіз, охопивши всі операції та зафіксувати відхилення, як-то дублювання покупців, продавців або транзакцій.

Також беззаперечною перевагою використання CAATTs на підприємствах, що займаються реалізацією електронних квитків, є широкі можливості CAATTs у сфері тестування надійності вебсайтів і глибшого розуміння IT-інфраструктури компанії (апаратне забезпечення і мережеві зв'язки). У табл. 3 наведено перелік найбільш адаптованих для потреб електронного бізнесу CAATTs та їх коротку характеристику [7].

Висновки. Діяльності в сфері продажу електронних квитків у повній мірі притаманні як традиційні для підприємницької діяльності загрози, так і специфічні для електронної комерції загрози, породжені технологіями електронного бізнесу та широким застосуванням засобів комп'ютерної та телекомунікаційної техніки. Загрози при торгівлі електронними квитками виникають практично на всіх етапах діяльності і зачіпають інтереси як продавців, так і покупців.

Таблиця 3

ІНСТРУМЕНТИ І ПРИЙОМИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ПІДТРИМКИ АУДИТУ

Назва CAATTs	Коротка характеристика
Аналіз безпеки Microsoft	Може ефективно використовуватися з метою оцінювання рівня прогалин в операційних системах Microsoft та важливих налаштувань, що пов'язані із безпекою. Вартість: безкоштовно
Тестер SSL Labs	Дозволяє оцінити якість зашифрованого зв'язку і отримати детальний звіт. Вартість: безкоштовно
NMAP	Дний продукт являє собою сканер безпеки, який допомагає виявити хости і сервіси в комп'ютерній мережі та створити таким чином «карту» мережі. Вартість: безкоштовно

Закінчення табл. 3

Назва CAATTs	Коротка характеристика
OWASPZAP	Являє собою легкий та зручний у використанні програмний продукт для виявлення вразливих місць у веб-додатках. Вартість: безкоштовно
Sptunk	Цей інтегрований інструмент дозволяє збирати, індексувати та заносити в режимі реального часу дані реєстру в сховище пошуку та потім генерувати графіки, звіти, тощо. Вартість: є безкоштовним для особистого використання (до 500 МБ на день)
Hexicon Disco	Дозволяє здійснювати аналіз бізнес-процесів на основі реєстру подій. Основною метою використання даного програмного рішення є отримання нових знань з реєстру подій, що записується інформаційною системою. Вартість: залежно від комплектації, з обмеженим функціоналом можна завантажити безкоштовно
IDEA	Представляє собою інструмент аналізу даних, що призначений суттєво прискорити та підвищити ефективність проведення IT-аудиту і виявити недоліки системи контролю. Вартість: залежно від комплектації
Olikview	Являє собою потужну платформу бізнес-інтелекту, яку також можуть використовувати аудитори в процесі IT-аудиту. Вартість: залежно від комплектації, з обмеженим функціоналом можна завантажити безкоштовно
BWISE	Представляє собою програмне забезпечення для корпоративного управління, яке аудитори можуть використовувати для проведення IT-аудиту. Вартість: залежно від комплектації

Тому необхідність проведення комплексних заходів щодо виявлення та моніторингу загроз є очевидною для підприємств, що займаються продажем електронних квитків.

Рішення проблеми протидії загрозам безпеки підприємств, що займаються діяльністю у сфері реалізації електронних квитків на видовищні заходи, в першу чергу пов'язано з вирішенням питань захисту інформаційних технологій, застосовуваних у ній, тобто із забезпеченням інформаційної безпеки. При цьому класифікація загроз інформаційній безпеці є важливим етапом при оцінці захищеності інформаційних систем та розробці заходів щодо забезпечення інформаційної безпеки підприємства.

У роботі класифікація загроз інформаційній безпеці підприємств, що займаються діяльністю у сфері реалізації електронних квитків на видовищні заходи, проведена на основі поєднання таких критеріїв:

1. походження загрози: зовнішні та внутрішні загрози;
2. джерела загроз: загрози, що обумовлені людською діяльністю; загрози, джерелом яких є програмно-апаратні засоби; загрози, джерелом яких є природне середовище;
3. намір реалізувати загрозу безпеці: навмисні та ненавмисні дії порушника.

Результати класифікації загроз інформаційній безпеці в подальшому можуть використовуватись у процесі проведення аудиту інформаційної безпеки підприємства.

Також розглянуто конкретні програмні рішення для проведення аудиту інформаційної безпеки підприємства, що займається продажем квитків на видовищні заходи.

Бібліографічні посилання

1. Сравнительный анализ билетных систем: [електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.sporteventcenter.ru/images/НИР_1_Тоцкая_сравнение_билетных_систем_в_спорте.pdf
2. Global Online Event Ticketing Industry: market impact survey — covid-19 & looming recession: [електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.reportlinker.com/p05819087/Global-Online-Event-Ticketing-Industry.html?utm_source=GNW
3. Класификация угроз информационной безопасности: [електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.cnews.ru/reviews/free/oldcom/security/elvis_class.shtml
4. Managing the Risks of e-Business: [електронний ресурс]. — Режим доступу: http://facultyresearch.london.edu/docs/03managingtherisksupton.doc
5. Zingming Zhao et al 2019 J. Phys.: Research on risk assessment technology of China's railway ticket selling and reservation systemConf. Ser. 1325 01200
6. Jouini, M., Rabai, L. B. A. and Aissa, A. B. (2014), "Classification of security threats in information systems", *Procedia Computer Science*, Jan1, Vol. 32, P. 489–496.
7. Практична методологія IT-аудиту: [електронний ресурс]. — Режим доступу: http://dkrs.kmu.gov.ua/kru/doccatalog/document?id=134082
8. Zhao, N., Yen, D.C. and Chang, I. (2004), "Auditing in the e-commerce era", Information Management & Computer Security, Vol. 12 No. 5, P. 389-400. https://doi.org/10.1108/09685220410563360

Статтю подано до редакції 27.10.2021

УДК 517:519.6 DOI 10.33111/mise.101.4

Гладка Ю.А., к.ф.-м.н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Кінаш А.В., к.ф.-м.н., доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій та інновацій,
Українсько-американський університет Конкордія
Харкянен О.В., к.т.н., доцент,
доцент кафедри інформаційних систем,
Національний університет харчових технологій

Gladka Y., PhD in Mathematics,
Associate Professor of the Department of Computer Mathematics
and Information Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Kinash A., PhD in Mathematics,
Associate Professor of the Information Technologies
and Innovations Department,
Ukrainian-American Concordia University
Kharkianen O., PhD in Technology,
Associate Professor of the Department of Information Systems,
National University of Food Technologies (Kyiv, Ukraine)

ПРО МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОГО КЛАСУ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

ABOUT SIMULATION OF ONE CLASS OF DYNAMIC PROCESSES

Анотація. *Метою роботи є розробка дискретних математичних алгоритмів для рівняння конвективної дифузії з явною організацією обчислень. Наявність у математичній моделі конвективного члена створює додаткові математичні труднощі при побудові та реалізації обчислювальних алгоритмів. Розглянуто задачу математичного моделювання нестаціонарних процесів конвективної дифузії і теплопровідності. Для чисельного розв'язання багатовимірних початково-крайових задач дифузії і теплопровідності запропоновано підхід, який використовує ідею розщеплення та реалізацію отриманих різницевих схем за допомогою явних схем біжучої хвилі, досліджено диференціальні властивості функціонала якості, запропоновано ітераційний алгоритм визначення оптимального керування. У статті розвиваються методи математичного моделювання та оптимізації процесів дифузії (теплопровідності) у вигляді прямих та екстремальних завдань для багатовимірних параболічних рівнянь. Для чисельного розв'язання нестаціонарних рівнянь дифузії запропоновано підхід, який використовує ідею розщеплення та реалізацію отриманих різницевих схем за допомогою явних схем рахунку, що біжить. Розглянуто та досліджено питання побудови схем розщеплення, апроксимації та стійкості явних різницевих схем за початковими даними. Для чисельного розв'язання задачі оптимального керування вивчено диференціальні властивості функціоналу якості, запропоновано ітераційний алгоритм визначення оптимального керування. Реалізація запро-*

© Ю. А. Гладка, А. В. Кінаш,
О. В. Харкянен, 2021

понованого підходу до вирішення просторових нестаціонарних рівнянь дифузії на багатопроцесорних обчислювальних системах із розподіленою пам'яттю дозволить значною мірою скоротити часові витрати.
Ключові слова: *параболічне рівняння, чисельний метод, методи розщеплення, різницева схема, стійкість.*

Abstract. *The aim of the work is to develop discrete mathematical algorithms for the convective diffusion equation with explicit organization of calculations. The presence of a convective term in the mathematical model creates additional mathematical difficulties in the construction and implementation of computational algorithms. The problem of mathematical modeling of nonstationary processes of convective diffusion and thermal conductivity is considered. An approach using the idea of splitting and realization of the obtained difference schemes with the help of explicit traveling wave schemes is proposed for numerical solution of multidimensional initial-boundary diffusion and thermal conductivity problems. Differential properties of quality functional are investigated, iterative algorithm for optimal control. The article develops methods of mathematical modeling and optimization of diffusion (thermal conductivity) processes in the form of direct and extreme problems for multidimensional parabolic equations. For the numerical solution of nonstationary diffusion equations, an approach is proposed that uses the idea of splitting and realization of the obtained difference schemes with the help of explicit schemes of a running account. The question of construction of schemes of splitting, approximation and stability of explicit difference schemes according to initial data is considered and investigated. To numerically solve the problem of optimal control, the differential properties of the quality functional are studied, and an iterative algorithm for determining optimal control is proposed. The implementation of the proposed approach to solving spatial nonstationary diffusion equations on multiprocessor computing systems with distributed memory will significantly reduce time costs.*
Keywords: *parabolic equation, optimal control problem, numerical method, splitting methods, difference scheme, stability.*

Вступ. Основою технології математичного моделювання процесів з розподіленими параметрами є базові моделі та ефективні чисельні алгоритми розв'язання диференціальних рівнянь з частинними похідними, які базуються на використанні скінченно-різницевих, скінченно-об'ємних і скінченно-елементних апроксимацій по простору [1–6, 15–20]. Для обчислювальної практики значний інтерес являють методи факторизації та розщеплення [6, 16–20, 25], які дозволяють звести розв'язок вихідних задач до розв'язку рівнянь меншої розмірності.

Метою роботи є розробка дискретних математичних алгоритмів для рівняння конвективної дифузії з явною організацією обчислень. Наявність у математичній моделі конвективного члена створює додаткові математичні труднощі при побудові та реалізації обчислювальних алгоритмів.

В основі схем розщеплення перехід на новий часовий шар пов'язаний з розв'язанням ряду простіших задач. Запропонований підхід до побудови дискретних моделей використовує ідею розщеплення і реалізацію отриманих схем на основі явних схем

біжучого рахунку, запропонованих у [7] для одновимірного рівняння дифузії. У роботі для побудованих різницевих схем біжучого розрахунку досліджені питання апроксимації та стійкості за початковими даними. З метою застосування запропонованих різницевих схем для чисельного моделювання та оптимізації нестаціонарних теплових і дифузійних процесів на основі різницевих схем з явною організацією обчислень.

У роботі для запропонованих різницевих схем з явною організацією обчислень досліджено питання апроксимації та стійкості за початковими даними. З метою використання запропонованих різницевих схем для чисельного розв'язання задач оптимального керування досліджені диференціальні властивості функціонала якості, запропонований ітераційний алгоритм визначення оптимального керування.

Питання побудови та дослідження стійкості різницевих схем розщеплення проілюструємо на прикладі крайової задачі для параболічного рівняння другого порядку вигляду

$$\frac{\partial u}{\partial t} = div(\, k\, grad\, u) + f,$$

яке є базовим при моделюванні та оптимізації численних нестаціонарних теплофізичних або дифузійних процесів [2, 3, 6].

Нехай у декартовій системі координат (x, y) на часовому інтервалі $0 < t \leq T$ функція $u(x, y, t)$ задовольняє у прямокутній області $G = \{(x, y)|, 0 < x < l_1, 0 < y < l_2\}$ з межею ∂G двовимірному нестаціонарному параболічному рівнянню

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x}(\square\, \curvearrowleft_1 \frac{\partial u}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(k_2 \frac{\partial u}{\partial y}) = f(x, y, t), (x, y) \in G, t \in (0, T], \quad (1)$$

у якому $u(x, y, t)$ — шукана функція (характеристика досліджуваних процесів), коефіцієнти $k_\alpha = k_\alpha(x, y) > \chi > 0, \alpha = 1{,}2$ — додатні неперервно-диференційовані функції, $f(x, y, t)$– функція розподілу джерел. Рівняння (1) доповнюється граничними та початковою умовами.

Сформулюємо математичну постановку задачі оптимального керування для параболічного рівняння (1) у випадку, коли потрібно знайти характеристики розподіленої системи із заданими властивостями.

Для задач керування процесами дифузії (теплофізики), що протікають у деякій обмеженій однозв'язній області G з межею

∂G на часовому відрізку $0 < t \leq T$, стан розподіленої системи описується параболічним рівнянням

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x}(k_1 \frac{\partial u}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(k_2 \frac{\partial u}{\partial y}) = f(x,y,t) + v(x,y,t),$$
$$(x,y) \in G, t \in (0,T], \quad (2)$$

де $f(x,y,t)$ — задана функція, $v(x,y,t)$ — керуюча функція, $k_1(x,y,k_2(x,y)$ — задані додатні функції, $k_б(x,y) > \square_- > 0$, $б = 1{,}2$.

Для рівняння (2) будемо розглядати початкову

$$u(x,y,0) = u_0(x,y), \ (x,y) \in G \quad (3)$$

та граничну

$$\left(\frac{\partial u}{\partial N} + в(x,y,t)u\right)\Big|_{\partial G} = y(x,y,t), \ (x,y) \in \partial G \ ,0 < t \leq T \quad (4)$$

умови відповідно.

Математичну постановку екстремальної задачі сформулюємо як розв'язок задачі мінімізації деякого функціонала з метою забезпечення мінімального відхилення характеристик модельованого поля від заданих в області G. При цьому в якості керування приймається розподіл $v(x,y,t)$ у правій частині параболічного рівняння (2).Тоді одну із екстремальних задач можна сформулювати таким чином. Потрібно знайти допустиме керування $v = v_0(x,y,t)$ та відповідний йому розв'язок $u = u_0(x,y,t)$ задачі (2) — (4), щоб функціонал

$$J_e(v) = \int_G (u(x,y,T) - h(x,y))^2 dxdy + \frac{1}{e^2}\int_0^T dt \int_G v^2(x,y,t)\, dxdy \quad (5)$$

приймав найменше можливе значення.

Тут T — фіксований момент часу, $h(x,y)$ — задана функція, $v(x,y,t)$ — керування з деякої опуклої замкнутої множини $U = \{ v(x,y,t) \in L_2(Q)\}$, де $L_2(Q)$ — простір дійсних функцій, інтегровних з квадратом в області

$$Q = \{(x,y,t)|, 0 < x < l_1, 0 < y < l_2, \ 0 < t \leq T\}.$$

Скалярний добуток і норма в $L_2(Q)$ визначаються за формулою

$$(u,v) = \int_Q u(x,y,t)v(x,y,t)dG\square 徽t, \ \|v\| = \frac{(v,v)1}{2} \ =$$
$$= \left(\int_Q \ v\,(x,y,t)^2 dGdt\right)^{1/2} . \quad (6)$$

Відмітимо, що для виділення обмеженого розв'язку в функціонал якості (5) додано стабілізуючий функціонал $\frac{1}{\varepsilon^2}\|v\|^2$при деякому заданому $e > 0$.

Будемо розглядати задачу керування без обмежень ($U = H = L_2(Q)$), т.ч. оптимізаційна задача полягає у визначенні керування w, при якому функціонал (5) досягає своєї нижньої грани

$$J_e(w) = \inf_{v \in H} J_e(v).$$

Схема розщеплення. Для чисельного розв'язку багатовимірних задач розроблена велика кількість обчислювальних алгоритмів, які базуються, в основному, на методах розщеплення [6, 8, 16]. При цьому значний інтерес представляє побудова різницевих схем розщеплення із заданими властивостями, зокрема, з явною організацією обчислень.

Двокрокова схема розщеплення. Викладемо підхід до побудови різницевих схем розщеплення на вирішення багатовимірних завдань з прикладу двокрокової схеми розщеплення для початково-крайової задачі (1), (3) і (4).

У рамках цього підходу двокрокову схему розщеплення на диференціальному рівні можна отримати, представляючи параболічне рівняння (1) в операторному вигляді

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (L_1 + L_2)u = f \tag{7}$$

Нехай для деякого моменту часу t рішення рівняння (7) відомо, тоді для моменту $\hat{t} = t + \tau$ відоме $\hat{u}(x, y, \hat{t})$ можна подати за допомогою ряду Тейлора у вигляді:

$$u(x, y, \hat{t}) = u(x, y, t) + \phi \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial t} + O(\phi^2) =$$
$$= [E - \phi L_1 - \phi L_2]u(x, y, t) + \phi f + O(\phi^2). \tag{8}$$

Розглянемо дві допоміжні задачі:

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + L_1 u_1 = \frac{1}{2} f,\ u_1(x, y, t) = u(x, y, t), \tag{9}$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + L_2 u_2 = \frac{1}{2} f, u_2(x, y, t) = u_1(x, y, \hat{t}). \tag{10}$$

Легко бачити, що розв'язання завдань (9), (10) можна записати у вигляді $u_1(x,y,\hat{t}) = [E - \tau L_1]u_1(x,y,t) + \frac{\tau}{2}f + O(\tau^2)$, $u_2(x,y,\hat{t}) = [E - \phi L_2]u_2(x,y,t) + \frac{\phi}{2}f + O(\phi^2)$.

Враховуючи, що $u_2(x,y,t) = u_1(x,y,\hat{t})$, маємо

$$u_2(x,y,\hat{t}) = [E - \phi L_1 - \phi L_2]u(x,y,t) + \phi f + O(\phi^2). \quad (11)$$

Приймаючи $u(x,y,\hat{t}) = u_2(x,y,\hat{t})$ і порівнюючи вирази (8) і (11), приходимо до твердження, що вирішуючи послідовно задачі (9), (10) отримуємо рішення рівняння (7) для моменту часу $\hat{t}$ з похибкою O(ϕ2).

Задача оптимального керування. Чисельні методи, розроблені на вирішення прямих завдань виду (1) — (3), застосовуються на вирішення зворотних завдань, завдань оптимального керування та інших.

Для задачі оптимального керування (2) — (5) з метою отримання умов оптимальності та використання градієнтних методів оптимізації досліджуємо диференціальні властивості критерію якості (5). Покажемо, що функціонал (5) диференційований у довільній точці $v \in U$. Для цього оцінимо головну лінійну частину збільшення функціоналу $\Delta J_\varepsilon(v) = J_\varepsilon(v + \delta v) - J_\varepsilon(v)$ залежно від збільшення керування v.

Задамо керуванню $v(x,y,t)$ деяке збільшення $\delta v = \delta v(x,y,t)$ та позначимо через $\delta u = \delta u(x,y,t)$ відповідне йому збільшення функції $u = u(x,y,t)$.

Легко бачити, що збільшення рішення $\delta u(x,y,t)$ задовольняє початково-крайову задачу ($k_1 = k_2 = k$)

$$\frac{\partial \delta u}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x}(k\frac{\partial \delta u}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(k\frac{\partial \delta u}{\partial y}) = \delta v(x,y,t), (x,y) \in G, t \in (0,T], \quad (12)$$

$$\left(k\frac{\partial\, \delta u}{\partial n} + \beta(x,y,t)\delta u\right)\Big|_{\partial G} = 0,\ (x,y) \in \partial G\ , 0 < t \le T, \quad (13)$$

$$\delta u(x,y,0) = 0,\ (x,y) \in G\ . \quad (14)$$

Тоді вираз для збільшення функціоналу (5) можна записати у вигляді

$$\Delta J_e(v) = \int_G \Big[\left(u(x,y,T) + \partial u(x,y,T) - h(x,y)\right)^2 - (u(x,y,T) - h(x,y))^2 \Big] dxdy + \frac{1}{e^2}\int_0^T dt \int_G [(v(x,y,t) + \partial v(x,y,t))^2 - v^2(x,y,t)]\, dxdy.$$

Приймаючи до уваги, що

$$(u(x,y,T)+\partial u(x,y,T)-h(x,y))^2-(u(x,y,T)-h(x,y))^2=$$
$$=2\partial u(x,y,T)[u(x,y,T)-h(x,y)]+\partial u^2(x,y,T),$$
$$(v(x,y,t)+\partial v(x,y,t))^2-v^2(x,y,t)=2v(x,y,t)\partial v(x,y,t)+$$
$$+\partial v^2(x,y,t),$$

збільшення функціоналу набуває вигляду

$$\Delta J_e(v)=2\int_G[u(x,y,T)-h(x,y)]\partial u(x,y,T)dxdy$$
$$+\frac{2}{e^2}\int_0^T dt\int_G v(x,y,t)\partial v(x,y,t)\,dxdy+$$
$$+\int_G(\partial u(x,y,T))^2dxdy+\frac{1}{e^2}\int_0^T dt\int_G(\partial v(x,y,t))^2\,dxdy \qquad (15)$$

Щоб остаточно визначити вираз для головної лінійної частини, введемо до розгляду пов'язану функцію $\psi(x,y,t)$ як рішення в області Q деякої початково-крайової задачі. Класична процедура виведення парного оператора полягає в наступному. Обидві частини рівняння (12)

$$L\delta u=\delta v,\ Lu=\frac{\partial u}{\partial t}-\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial u}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial u}{\partial y}\right)$$

множаться на функцію $w(x,y,t)$ та інтегруються в часі та просторі в межах, обумовлених постановкою задачі:

$$\int_0^T dt\int_G w\left[\frac{\partial\partial u}{\partial t}-\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial\partial u}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial\partial u}{\partial y}\right)\right]dxdy=\int_0^T dt\int_G w\partial v\,dxdy \ (16).$$

Далі проведемо перетворення (16) з метою ввести функцію $\psi(x,y,t)$ у диференціальні вирази замість ∂u. Інтегруючи частинами, для першого доданку в (16) з урахуванням початкової умови (3) знаходимо

$$\int_0^T dt\int_G\psi\frac{\partial\delta u}{\partial t}dxdy=\int_G\psi\delta u|_{t=0}^T dxdy-$$
$$-\int_0^T dt\int_G\delta u\frac{\partial\psi}{\partial t}dxdy=\int_G\psi\delta u|_{t=T}dxdy-$$
$$-\int_0^T dt\int_G\delta u\frac{\partial\psi}{\partial t}dxdy\,. \qquad (17)$$

Застосовуючи першу формулу Гріна [22] і враховуючи граничну умову (4), в результаті перетворення еліптичного оператора на (16) послідовно отримуємо

$$\int_0^T dt \int_G ш \left[-\frac{\partial}{\partial x}(k\frac{\partial \partial u}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(k\frac{\partial \partial u}{\partial y})\right] dxdy$$
$$= \int_0^T dt \int_G k \left[\frac{\partial ш}{\partial x}\frac{\partial \partial u}{\partial x} + \frac{\partial ш}{\partial y}\frac{\partial u}{\partial y}\right] dxdy$$
$$- \int_0^T dt \int_{\partial G} шk\frac{\partial \partial u}{\partial n} ds =$$

$$= \int_0^T dt \int_G k \left[\frac{\partial ш}{\partial x}\frac{\partial \partial u}{\partial x} + \frac{\partial ш}{\partial y}\frac{\partial u}{\partial y}\right] dxdy + \int_0^T dt \int_{\partial G} вш\partial uds, \qquad (18)$$

$$\int_0^T dt \int_G \partial u \left[-\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial ш}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial ш}{\partial y}\right)\right] dxdy = \int_0^T d\square \prec$$
$$\int_G k \left[\frac{\partial ш}{\partial x}\frac{\partial \partial u}{\partial x} + + \frac{\partial ш}{\partial y}\frac{\partial u}{\partial y}\right] dxdy - \int_0^T dt \int_{\partial G} \partial uk\frac{\partial ш}{\partial n} ds\,. \qquad (19)$$

Таким чином, з (16) — (19) випливає перетворений вираз

$$\int_G ш\partial u|_{t=T} dxdy$$
$$+ \int_0^T dt \int_G \partial u \left[-\frac{\partial ш}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x}(k\frac{\partial ш}{\partial x})\right.$$
$$\left. - \frac{\partial}{\partial y}(k\frac{\partial ш}{\partial y})\right] dxdy + \int_0^T dt \int_{\partial G} вш\partial uds =$$
$$= -\int_0^T dt \int_{\partial G} \partial uk\frac{\partial ш}{\partial n} ds + \int_0^T dt \int_G ш\partial v\, dxdy. \qquad (20)$$

Звідси випливає, що ввівши функцію $ш(x, y, t)$ як рішення спряженого рівняння

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(k\frac{\partial \square 烧}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k\frac{\partial \psi}{\partial y}) = 0,\ (x, y) \in G, t \in (0, T] \qquad (21)$$

з граничною умовою

$$\left(k\frac{\partial\, \psi}{\partial n} + \beta\psi\right)\Big|_{\partial G} = 0,\ (x, y) \in \partial G,\ 0 < t \leq T, \qquad (22)$$

вираз (20) набуває вигляду

$$\int_G ш\partial u|_{t=T} dxdy = \int_0^T dt \int_G ш\partial v \, dxdy \, . \quad (23)$$

Якщо визначити початкову умову для ретроспективної задачі формулою

$$ш|_{t=T} = u(x, y, T) - h(x, y), \quad (24)$$

то з (23) випливає

$$\int_G (u(x, y, T) - h(x, y))\partial u|_{t=T} dxdy = \int_0^T dt \int_G ш\partial v \, dxdy. \quad (25)$$

На підставі (25), збільшення функціоналу (15) можна переписати у вигляді

$$\Delta J_e(v) = 2 \int_0^T dt \int_G \left[ш + \frac{1}{e^2} v\right] \partial v \, dxdy + o\|\partial u\| + o\|\partial v\|. \quad (26)$$

Звідси випливає диференційованість функціоналу $J_\varepsilon(v)$ по v в просторі $L_2(Q)$

Таким чином, встановлено таку теорему.

Теорема. Функціонал (5) диференційований по Фреше у просторі $L_2(Q)$. Градієнт функціоналу визначається через спряжений стан, виразом:

$$grad J_e(v) = 2 \left(ш(x, y, t) + \frac{1}{e^2} v(x, y, t)\right) . \quad (27)$$

де $ш$ — рішення спряженої задачі (21), (22), (24).

Умова оптимальності задачі оптимального керування $grad J_e(v) = 0$

з урахуванням (27) набуває вигляду

$$\left(\psi(x, y, t) + \frac{1}{\varepsilon^2} v(x, y, t)\right) = 0, \ (x, y) \in G, t \in (0, T].$$

З викладеного слідує, що з визначення градієнта необхідно при фіксованому отримати рішення двох крайових завдань. Спочатку за допомогою прямої задачі (2)–(4) слід визначити функцію $u(x, y, t)$, а потім із (21), (22), (24) знайти значення спряженої функції.

Наближене рішення задачі оптимального керування можна отримати, використовуючи градієнтні методи [6, 23, 24], а також викладену вище методику побудови різницевих схем бі-

жучого рахунку для чисельного розв'язання прямої диференціальної задачі. Зазначимо, що двокрокові різницеві схеми можуть бути безпосередньо застосовані і для чисельного вирішення спряжених задач.

Висновки. У статті розвинено методи математичного моделювання та оптимізації процесів дифузії (теплопровідності) у вигляді прямих та екстремальних завдань для багатовимірних параболічних рівнянь. Для чисельного розв'язання нестаціонарних рівнянь дифузії запропоновано підхід, який використовує ідею розщеплення та реалізацію отриманих різницевих схем за допомогою явних схем рахунку, що біжить. Розглянуто та досліджено питання побудови схем розщеплення, апроксимації та стійкості явних різницевих схем за початковими даними. Для чисельного розв'язання задачі оптимального керування вивчено диференціальні властивості функціоналу якості, запропоновано ітераційний алгоритм визначення оптимального керування. Реалізація запропонованого підходу до вирішення просторових нестаціонарних рівнянь дифузії на багатопроцесорних обчислювальних системах із розподіленою пам'яттю дозволить значною мірою скоротити часові витрати.

Бібліографічні посилання

1. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. Москва. Наука, 1982. 320 с.
2. Егоров, А.И. Оптимальное управление тепловыми и диффузионными процессами. Москва. Наука, 1978. 463 с.
3. Егоров, А.И. Основы теории управдения. Москва. Физматгиз, 2004. 504 с.
4. Згуровский М.З., Скопецкий В.В., Хрущ В.К., Беляев Н.Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. Киев: Наук. думка. 1997. 368 с.
5. Сергиенко И.В., Скопецкий В.В., Дейнека В.С. Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах. Киев, Наук. думка, 1991. 432 с.
6. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. Москва. Едиториал УРСС, 2003. 784 с.
7. Саульев В.К. Интегрирование уравнений параболического типа методом сеток. Москва. Физматгиз, 1960. 324 с.
8. Samarskii A.A., Vabishchevich P.N. Numerical methods for solving inverse problems of mathematical physics. Berlin.Walter de Gruyter, 2007. 438 p.

9. Vabishchevich P. N. and Vasil'ev V. I., Computational algorithms for solving the coefficient inverse problem for parabolic equations. *Inverse Probl. Sci. Engin*. 2016. Vol.24. N. 1, P. 42–59.

10. Вабищевич П.Н., Васильева М.В., Васильев В.И. Вычислительная идентификация правой части параболического уравнения. *Журн. вычисл. матем. и матем. физики*, 2015. Т. 55, N 6. С. 1020–1027.

11. Годунов С.К., Рябенький В.С. Разностные схемы. Москва. Наука, 1977. 440 с.

12. Агошков В.И. Методы оптимального управления и сопряженных кравнений в задачах математической физики. Москва. ИВМ РАН, 2004. 256 с.

13. Дейнека В.С., Сергиенко И.В. Модели и методы решения задач в неоднородных средах. Киев, Наук. думка, 2001. 606 с.

14. Ильин В.П. Методы конечных разностей и конечных объемов для эллиптических уравнений. Новосибирск. Изд. ИМ СО РАН, 2001. — 318 с.

15. Vabishchevich P. N., Zakharov P.E. Explicit-implicit splitting schemes for parabolic equations and systems. *Numerical methods and applications. Springer*, 2015, P. 157-166.

16. Марчук Г. И. Методы расщепления. Москва. Наука, 1988. 264 с.

17. Gladky A. V. Stability of difference splitting schemes for convection diffusion equation. *Cybernetics and Systems Analysis.* 2017. Vol. 53, No. 2. P. 193–203.

18.Gladky A. V. Analysis of splitting algorithms in convection–diffusion problems. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2014. Vol. 50. N. 4. P. 548–559.

19. Vabishchevich P.N. On a new class of additive (splitting) operator_difference schemes. Math. Comput. 2012.Vol. 81. N. 277. P. 267–276.

20. Vabishchevich P. N. Flux-splitting schemes for parabolic problems. Computational *Mathematics and Mathematical Physics*.2012. Vol. 52. N. 8. P. 1128–113.

21. Самарский А.А., Гулин А.В. Устойчивость разностных схем. Москва. Наука, 1973. 416 с.

22. Г. И. Марчук, Агошков В.Н. Введение в проекционно-сеточные методы. Москва. Наука, 1981.416 с.

23. Алифанов, О.М. Экстремальные методы решения некорректных задач. Москва. Наука, 1988. 288 с.

24. Васильев П. Ф. Методы оптимизации. М.: Факториал Пресс, 2002. — 824 с.

25. Гладкий А.В., Гладкая Ю.А. Об одной схеме расщепления в задачах диффузии и теплопроводности. *Кибернетика и системный анализ,* 2019. Т. 55. №6. С.122-133.

Статтю подано до редакції 21.11.2021

УДК: 517.9 DOI 10.33111/mise.101.5

Джалладова І.А., д. фіз.-мат. наук, професор,
професор кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки
ДВНЗ «КНЕУ імені В. Гетьмана»
Ружечкова М., к. фіз.-мат. наук, професор,
професор кафедри аналізу, Університет в Білостоці, Польща
Дацюк М.В., студент 4 курсу
за освітньо-професійною програмою «Кібербезпека»,
ДВНЗ «КНЕУ імені В. Гетьмана»

Dzhalladova I.A., Doctor of Science in Physics and Mathematics,
Professor of the Department of Computer Mathematics
and Information Security
SHEI KNEU named after V. Hetman
Růžičková Miroslava, dr hab., professor,
Professor of the Chair of Analysis,
University of Białystok, Poland
Datsiuk M.V.,
student 4 course
for the educational and professional program «Cybersecurity»,
SHEI KNEU named after V. Hetman

НЕМАРКОВСЬКІ ПРОЦЕСИ: ПОСТУЛАТИ ТА МОДЕЛЬНІ ПРОБЛЕМИ

NON-MARKOV PROCESSES: POSTULATES AND MODELS PROBLEMS

Анотація. *У статті узагальнюються існуючи проблеми і шляхи їх вирішення, пов'язані з конструкцією і впровадженням немарковських процесів. Шлях до адекватного опису систем інформаційного та соціально-економічного плану лежить через побудову теорії теорії немарківських процесів, що описують зміну структур. Визначено, що розглядати немарковські процеси лише як модифікації або виправлення марковських процесів — так само неправильно, як, наприклад, розглядати всі нелінійні динамічні системи як поправки до гармонічного осцилятора. Результати обґрунтовано і сформульовано у таких постулатах: немарковськість — це правило, а марковськість — це виключення; причиною популярності марковських процесів є те, що вони повністю визначаються лише двома станами; фізичний процес (тобто деяке фізичне явище, що розвивається в часі) може бути або не бути марковським, залежно від змінних, які використовуються для його опису; основне рівняння — це рівняння для ймовірності переходу марковського процесу, дійсне для будь-яких початкових часу; для немарковського процесу проблема початкового значення не є чітко визначеною, якщо не буде надано додаткову інформацію про проблему; для немарковських процесів можна сформулювати проблему першого проходження, але її фізична релевантність сумнівна; для рівняння Ланжевена з кольоровим шумом неможливо сформулювати значущу початкову умову чи час першого проходження. В модельних задачах показано унікальні можливості і недолікі, запропонованого інструмента. Дано існуючий і авторський підхід для отри-*

© І. А. Джалладова, М. Ружечкова,
М. В. Дацюк, 2021

мання основного рівняння для визначення немарковського процесу. В подальших дослідженнях будуть розвинуті отримані результати і розв'язані модельні проблеми, які виникли, зокрема, в криптографії, теорії інформації і кодування.
Ключові слова: *немарковські процеси; марковськість і немарковськість; стохастичні рівняння; дифузія; випадкове блукання, рівняння Крамерса, кольоровий шум.*

Abstract. *The article summarizes the existing problems and ways to solve them related to the design and implementation of non-Markov processes. The way to an adequate description of the systems of information and socio-economic plan lies through the construction of a theory of non-Markov processes that describe the change of structures. It is determined that to consider non-Markov processes only as modifications or corrections of Markov processes is just as wrong as, for example, to consider all nonlinear dynamical systems as corrections to the harmonic oscillator. The results are substantiated and formulated in the following postulates: non-Markov is a rule, and Markov is an exception; the reason for the popularity of Markov processes is that they are completely determined by only two states; a physical process (ie, some physical phenomenon that develops over time) may or may not be Markov, depending on the variables used to describe it; the basic equation is the equation for the probability of transition of the Markov process, valid for any initial time moment; for the non-Markov process, the problem of initial value is not clearly defined unless additional information about the problem is provided; for non-Markov processes it is possible to formulate the problem of the first passage, but its physical relevance is doubtful; for the Langevin equation with color noise, it is impossible to formulate a significant initial condition or time of the first pass. The model problems show the unique advantages and disadvantages of the proposed tool. The existing and author's approach to obtain the basic equation for determining the non-Markov process is given. Further research will develop of the obtained results and solve model problems that have arisenin cryptography, information and coding theory.*
Keywords: *non-Markov processes; main equation; Markov and Non-Markov property; stochastic differential equation; diffusion; random walk; Cramers equations, color noise.*

Вступ. Марковські процеси дуже добре вивчено в роботах [1, 2]. Багато робіт з їх застосуванням написано автором [22, 23, 24, 25, 26, 27], досліджуючи стійкість динамічних систем із випадковою структурою. Але шлях до адекватного опису систем інформаційного та соціально-економічного плану лежить через побудову теорії немарківських процесів, що описують зміну структур в умовах невизначеності [5, 28, 29, 30]. Враховуючі, що більшість реальних ситуацій потребують гнучкого підходу, не можна користуватися одним й тим же інструментарієм, хоча й таким що себе добре показав [21].

Взагалі, стохастичний процес — це сукупність випадкових величин X_t, позначених індексом t, який може бути дискретним, але частіше охоплює всі дійсні числа в певному інтервалі.

Стохастичні властивості $\{X_t\}$ виражаються спільними функціями розподілу:

$$P_n(x_1, t_1; x_2, t_2; \dots; x_n, t_n)dx_1dx_2 \dots dx_n = \text{імовірність того, що } x_1 < X_{t_1} < x_1 + dx_1, x_2 < X_{t_2} < x_2 + dx_2, \dots, x_n < X_{t_n} < x_n + dx_n \quad (1)$$

Процес однозначно визначається усією сукупністю цих функцій розподілу для $n = 1,2, \dots$, яка загалом є нескінченною.

Коли значення $X_{t_1} = x_1, X_{t_2} = x_2, \dots, X_{t_k} = x_k$ задані, інші змінні виконують функції розподілу умовної ймовірності:

$$(x_{k+1}, t_{k+1}; \dots; x_n, t_n | x_1, t_1; \dots; x_k, t_k)$$

$$\text{P} = \frac{P_n(x_1, t_1; \dots; x_k, t_k; x_{k+1}, t_{k+1}; \dots; x_n, t_n)}{P(x_1, t_1; \dots; x_k, t_k)}$$

Це розподіл ймовірностей $X_{t_{k+1}}, \dots, X_{t_n}$, у якому $x_1, \dots, x_k$ виступають параметрами. Візьмемо t_i в хронологічному порядку, тоді процес є марковським, якщо ця умовна ймовірність залежить тільки від останнього значення x_k на t_k і не залежить від попередніх значень $x_{i<k}$. Це повинно виконуватися для всіх n, для будь-якого вибору k, а також для будь-якого $t_1, \dots, t_k$ та $x_1, \dots, x_k$. Якщо це так, усі P_n можна побудувати, коли задані P_1 і P_2. Наприклад:

$$P_3(x_1, t_1; x_2, t_2; x_3, t_3) = P(x_3, t_3 | x_1, t_1; x_2, t_2) P_2(x_1, t_1; x_2, t_2) = P(x_3, t_3 | x_2, t_2) P(x_2, t_2 | x_1, t_1) P_1(x_1, t_1) \quad (2)$$

В сучасній стохастичній математиці термін «немарковські процеси» охоплює всі випадкові процеси за виключенням дуже невеликої кількості, яка має властивість марковськості.

Постулат 1: Немарковськість — це правило, а марковськість — це виключення.

Постановка проблеми. Після достатньо глибокого аналізу і роботи з марковськими і напівмарковськими процесами вважаю, що розглядати немарковські процеси лише як модифікації або виправлення марковських процесів — так само неправильно, як, наприклад, розглядати всі нелінійні динамічні системи як поправки до гармонічного осцилятора. Спробуємо постулювати:

Постулат 2. Причиною популярності марковських процесів є те, що вони повністю визначаються лише двома станами. Функція

$P(x_2, t_2|x_1, t_1)$ має сенс ймовірності переходу з одного стану в інший. Для немарковських процесів функції розподілу (1) мають бути визначені зовсім іншою математичною конструкцією.

Модельна проблема 1. Розглянемо відомий експеримент — симетричне випадкове блукання в одновимірному просторі. [3]. Процес є марковським із симетричною ймовірністю переходу:

$$P(i, t+1|i', t) = \frac{1}{2}\delta_{i,i'+1} + \frac{1}{2}\delta_{i,i'-1}.$$

Тут $t = 0,1,2,\ldots$ і x приймає цілі значення i. Але припустимо, що блукаючий має тенденцію зберігати напрямок руху: ймовірність p йти в тому ж напрямку, а q повертатися. Тоді X_t більше не є марковським, оскільки ймовірність X_t залежить не тільки від $x_t - 1$, а й від $x_t - 2$. Це можна виправити, ввівши двокомпонентну змінну $\{X_t, X_{t-1}\}$. Ця спільна змінна знову стає марковською з імовірністю переходу:

$$P(i_1, i_2, t+1|i_1', i_2', t) = \delta_{i_2,i_1'}[p\delta_{i_1-i_2,i_1'-i_2'} + q\delta_{i_1,i_2'}]$$

Постулат 3. Фізичний процес (тобто деяке фізичне явище, що розвивається в часі) може бути або не бути марковським, залежно від змінних, які використовуються для його опису. Якщо пам'ять нашого випадкового блукаючого включає більше попередніх кроків, потрібні додаткові змінні. Однак це більше не працює, якщо пам'ять поширюється на всі попередні кроки.

Приклад: полімери з відсутнім об'ємом. Ця проблема часто моделюється як випадкове блукання, але вона лишається немарковською і не була вирішена [4].

Таким чином проблема сформульована.

Основний результат. Візьмемо марковський процес, у якому t — час, коли X_t приймає дискретні значення $i = 0,1,2,\ldots$. У рівнянні (2) візьмемо $t_3 = t_2 + \Delta t$:

$$\frac{P_3(i_1, t_1; i_2, t_2; i_3, t_2 + \Delta t)}{P_1(i_1, t_1)} = P(i_3, t_2 + \Delta t|i_2, t_2)P(i_2, t_2|i_1, t_1)$$

Підсумуємо i_2 і візьмемо граничне значення, щоб отримати основне рівняння:

$$\dot{P}(i, t|i_1, t_1) = \sum \{W_{i.i'}P(i', t|i_1, t_1) - W_{i'.i}P(i, t|i_1, t_1)\} \qquad (3)$$

$W_{i,i'}$ є ймовірностями переходу за одиницю часу і є властивостями, що належать фізичній системі (наприклад, квадрати матричних елементів), тоді як P відноситься до стану системи. Параметри i_1, t_1 часто не записуються, яке може призвести до помилкової думки, що P в (3) те саме, що P_1 в (1).

Постулат 4. Основне рівняння — це рівняння для ймовірності переходу марковського процесу, дійсне для будь-яких початкових i_1, t_1. Якщо додатково знати $P_1(i_1, t_1)$ тобто всю ієрархію (1), то процес однозначно визначений (для $\geq t_1$).

Зауваження. У літературі, наприклад [1], можна зустріти щось, що називається "основне рівняння з пам'яттю",

$$\dot{P}(i,t|i_1,t_1) = \int_{t_1}^{t} dt' \sum_{i'} \{W_{i,i'}(t-t')P(i',t'|i_1,t_1) - W_{i',i}(t-t')P(i,t'|i_1,t_1)\},$$

з твердженням, що воно визначає немарковський процес. Але на думку автора:

(I) Немарковський процес не визначений, якщо відомий лише $P(i,t|i_1,t_1)$.

(II) Рівняння не може бути вірним для кожного x_1, t_1.

(III) Рівняння не гарантує, що процес не є марковським

Модельна проблема 2. Нехай x також неперервне. Тоді $W_{i,i'}$ набуває вигляду інтегрального ядра $W(x \mid x')$. Якщо процес такий, що протягом нескінченно короткого Δt можливі лише нескінченно малі стрибки, то ядро зводиться до диференціального оператора [6]. Найпростішим прикладом є рівняння дифузії для координати x броунівської частки:

$$\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = D\frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial x^2} \tag{4}$$

Розв'язком цього рівняння, заданим початковою умовою $P(x,t_1) = \delta(x-x_1)$, є ймовірність переходу $P(x,t\,|x_1,t_1)$.

Тут координата розглядається як марковська, хоча частка також має швидкість v. Тому слід вважати спільну змінну $\{x,v\}$ марковською з основним рівнянням:

$$\frac{\partial P(x,v,t)}{\partial t} = -v\frac{\partial P}{\partial x} + U'(x)\frac{\partial P}{\partial v} + \gamma\left(\frac{\partial}{\partial v}vP + T\frac{\partial^2 P}{\partial v^2}\right) \tag{5}$$

Це рівняння Крамерса [7]; γ — коефіцієнт тертя, $U(x)$ — зовнішній потенціал.

У цьому рівнянні x сам по собі не є Марковим. Як це поєднується з формулою (4)? Відповідь полягає в тому, що для великих γ зіткнення настільки часті, що розподіл швидкості швидко стає локально максвеллівським:

$$P(x,v,t) \to P(x,t)\frac{\exp\left[-\frac{v^2}{2T}\right]}{\sqrt{2\pi T}} \tag{6}$$

Це дає можливість усунути v так, щоб залишилося рівняння для $P(x,t)$ саме по собі [7,1], а саме:

$$\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = \frac{1}{\gamma}\left\{\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{U'(x)}{T}P\right)\right\} + O(\gamma^{-2}) \tag{7}$$

Проблеми при першому проходженні. Розглянемо одновимірну дифузію в потенціальному полі за формулою (7). Нехай воно має місце в скінченному середовищі $x_a < x < x_c$ (рис 1). Коли дифузійна частка починається у внутрішній точці x_b, які шанси, що вона вийде через x_a або x_c, відповідно?

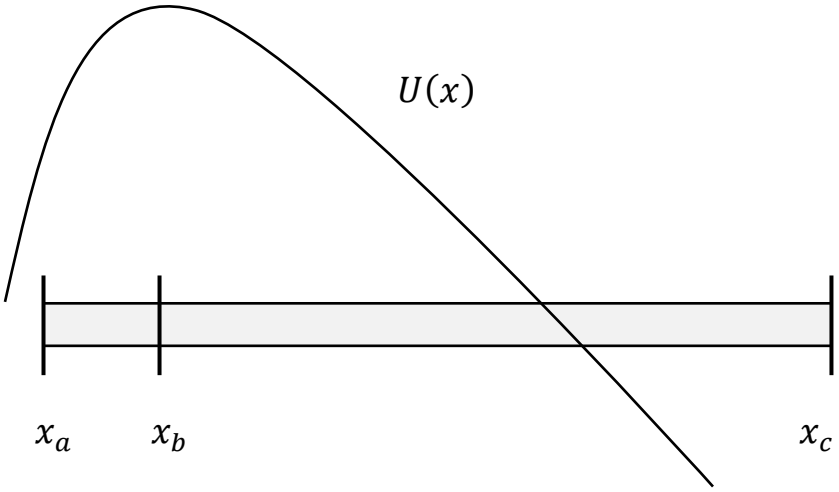


Рис. 1. Одновимірна дифузія в потенціальному полі

Відповідь отримуємо, розв'язавши (7) з граничними умовами поглинання: $P(x_a, t) = 0$ і $P(x_c, t) = 0$ (Розв'язок можна отримати явно завдяки тому, що в рівнянні для ймовірностей час не входить.) Зрозуміло, що коли x_b знаходиться на вершині найвищого максимуму $U(x)$, ймовірність виходу буде дорівнювати п'ятдесят на п'ятдесят. Також можна знайти середній час для будь-якого виходу [2].

У тривимірному просторі проблему можна сформулювати так: Коли я оточую максимум потенціалу закритою поверхнею, то який розподіл ймовірностей точок виходу на цій поверхні і скільки часу це займе? Цю задачу можна сформулювати таким же чином, але, думаю, її неможливо вирішити аналітично.

Однак для частки, описаної в (5), координата не є марковською, і тому недостатньо знати, що $x(t_1) = x_b$: потрібно також знати її попередню історію. У даному випадку ця історія представлена значенням v на t_1. Звичайно, можна просто вибрати початкову функцію $P_1(x, v, t_1)$, але правильний вибір залежить від проблеми, яку ви хочете вирішити. Наприклад, якщо треба обчислити автокореляційну функцію x:

$$< x(t_1)x(t_2) > = \int x_1 x_2 P(x_1 v_1 t_1; x_2 v_2 t_2) dx_1 dx_2 dv_1 dv_2 =$$

$$= \int x_1 x_2 P(x_1 v_1 t_1) P(x_2 v_2 t_2 | x_1 v_1 t_1) dx_1 dx_2 dv_1 dv_2$$

Очевидно, що для цього потрібно знати правильний початковий розподіл $P_1(x, v, t)$ в межах великого γ його можна замінити на $P_1(x, t_1)$ за допомогою (6).

Постулат 5. Для немарковського процесу проблема початкового значення не є чітко визначеною, якщо не буде надано додаткову інформацію про проблему.

Більший інтерес представляє питання виходу з потенційного мінімуму, такого як x_a на рис. 2. Скільки часу потрібно, щоб подолати бар'єр? Тут неоднозначність початкової швидкості не відіграє ролі, оскільки частка рухається в потенційній частині достатньо довго, щоб переважати Максвелліан (6).

У випадку дифузії, описаної в (7), можна взяти середній час першого прибуття в x_b — і помножити на 2, тому що в x_b однакова

ймовірність втечі або повернення. Середній час першого проходження знову можна обчислити аналітично. Однак у більших вимірах питання таке: Скільки часу потрібно, щоб вийти з мінімуму x_a, оточеного потенційною кривою? Цей середній час визначається найнижчим мінімумом на кривій і доступне елегантне наближення [8].

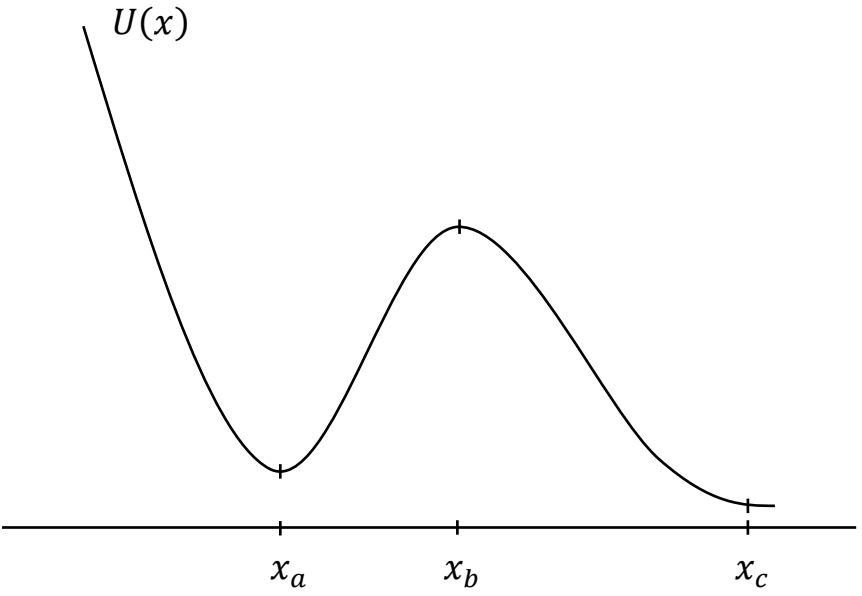


Рис. 2. Вихід з потенційного мінімуму

Однак у рівнянні Крамерса (5) недостатньо обчислити час, за який $x(t)$ досягне x_b, оскільки $x(t)$ не є марковським, і неможливо визначити ймовірність подальшої втечі без урахування v. Необхідно переформулювати задачу, вибравши велике x_c і розв'язавши рівняння (5) з граничною умовою: $P(x_c, v, t) = 0$ при $v < 0$ (рис.3). Це проблема Крамерса, яка часто обговорювалася [7,9].

Постулат 6. Для немарковських процесів можна сформулювати проблему першого проходження, але її фізична релевантність сумнівна.

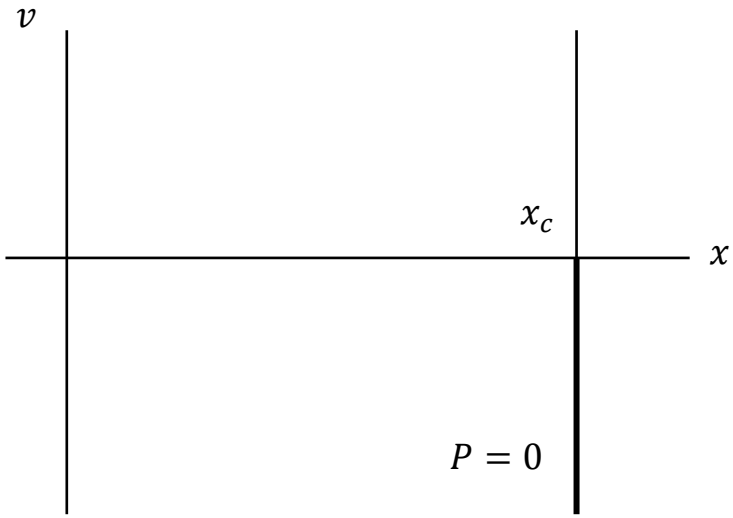


Рис. 3. Рівняння з граничною умовою $P(x_c, v, t) = 0$ при $v < 0$

Кольоровий шум. Почнемо з рівняння Крамерса (5) і розглянемо просторово однорідний випадок $U' = 0$. Тоді можна здійснити інтегрування за x і отримати рівняння для розподілу $P(v, t)$ окремо для v:

$$\frac{\partial P(v,t)}{\partial t} = \gamma \frac{\partial}{\partial v} vP + \gamma T \frac{\partial^2 P}{\partial v^2} \tag{8}$$

Марковський процес $v(t)$, описаний цим основним рівнянням, є процесом Орнштейна-Уленбека. Математично еквівалентним способом опису цього процесу є рівняння Ланжевена:

$$\dot{v} = -\gamma v + \xi(t), \tag{9}$$

де $\xi(t)$ — стохастична функція, яка називається гаусовим білим шумом, чиї стохастичні властивості визначаються:

$$< \xi(t) > = 0, \qquad < \xi(t)\xi(t') > = C\delta(t - t') \tag{10}$$

В результаті розв'язок $v(t)$ (з заданим початковим значенням $v(t_1) = v_1$) також є марковською та стохастичною функцією, її головне рівняння — (8), якщо взяти $C = 2\gamma T$. Рівняння Ланжевена (9) та (10) є популярними. Численні автори узагальнили рівняння (9),

взявши $x(t)$ не білий або кольоровий шум, тобто не дельта-корельований [10]:

$$< \xi(t)\xi(t') > = \phi(t - t') \tag{11}$$

з деякою рівномірною функцією ф.

Постулат 7. Коли шум у L-рівнянні не білий, змінна $v(t)$ не є марковською. Отже, для рівняння Ланжевена з кольоровим шумом неможливо сформулювати значущу початкову умову чи час першого проходження.

Іншим узагальненням рівняння Ланжевена (9) є нелінійний варіант [11]:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)\xi(t) \tag{12}$$

Коли $\xi(t)$ білий, то $x(t)$ є марковським. На жаль, рівняння в його нинішньому вигляді не має чітко визначеного значення і має забезпечуватися «правилом інтерпретації», або Іто, або Стратоновича. Щоб уникнути примх обчислення Іто, ми вибираємо останнє. Це відповідає А-рівнянню:

$$\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} f(x)P + \frac{C}{2}\frac{\partial}{\partial x} g(x)\frac{\partial}{\partial x} g(x)P$$

Коли $\xi(t)$ забарвлений, то $\xi(t)$ не є марковським, і рівняння не існує. Спроби побудови аналогічних диференціальних рівнянь у частинних похідних приречені на провал. Рівняння (12) належить до загального класу стохастичних диференціальних рівнянь. Їх можна обробити за допомогою методів апроксимації, розроблених для випадку, коли $\xi(t)$ є брудно-білим, тобто короткою кореляцією та різким піком $\phi(t - t')$ [12].

Інший метод, застосовний, коли цей час невеликий, використовувався Кубо [13] і був багаторазово модіфікований [14]. Припустимо, що $x(t)$ сам по собі є марковським процесом, який описується А-рівнянням. Тоді спільна змінна (ξ, x) є марковською з А-рівнянням:

$$\frac{\partial P(x,\xi,t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}\{f(x) + \xi g(x)\}P + \gamma\left(\frac{\partial}{\partial \xi}\xi P + T\frac{\partial^2 P}{\partial \xi^2}\right) \tag{13}$$

На практиці це мало допоможе, якщо для $\xi(t)$ не вибрати ще простіший не білий процес, а саме «дихотомічний процес Маркова». Тобто ξ має два можливі значення $+1, -1$ і стрибає з постійною ймовірністю γ за одиницю часу, як описано М-рівнянням:

$$\dot{P}_+ = -\gamma P_+ + \gamma P_-$$
$$\dot{P}_- = \gamma P_+ - \gamma P_-$$

При такому виборі рівняння (13) зводиться до:

$$\frac{\partial}{\partial t} P_+(x,t) = -\frac{\partial}{\partial x}(f+g)P_+ - \gamma P_+ + \gamma P_-$$
$$\frac{\partial}{\partial t} P_-(x,t) = -\frac{\partial}{\partial x}(f-g)P_- + \gamma P_+ - \gamma P_-$$

Клас немарковських процесів. У різних зв'язках відбувається процес наступного типу [17, 18]. Нехай X_t має два або більше можливих станів j, і в кожному він має ймовірність за одиницю часу γ_{ij} перейти до i. Якщо γ_{ij} є константами, $\{X_t\}$ є марковським процесом з М-рівнянням (3). Однак припустимо, що це функції $\gamma(\tau)$ часу τ, який минув з моменту прибуття в j. Приклади: Молекули в розчині можуть тимчасово прилипнути до стінки; бактерія дає потомство після досягнення певного віку. Інші приклади в [18,1].

Імовірність того, що X все ще перебуває в j у момент t після входу в нього, визначається як:

$$u_i(t) = \exp\left[-\int_0^t \sum_i \gamma_{ij}(\tau')d\tau'\right] \qquad (14)$$

Починаючи з $t = 0$ у j_0, він міг прийти в положення j у момент t через послідовність s переходів, у моменти $t_1, t_2, \ldots, t_s$, переходячи через положення $j_1, j_2, \ldots, j_s = j$. Ймовірність того, що ця конкретна подія відбудеться:

$$u_{j_0}(t_1)\gamma_{j_1 j_0}(t_1)u_{j_1}(t_2-t_1)\gamma_{j_2 j_1}(t_2-t_1)\ldots\gamma_{j_s j_{s-1}}(t_s-t_{s-1})$$
$$u_{j_s}(t-t_s)$$

Ймовірність того, що $P_{jj_0}(t)$ перебуватиме в момент t у стані j, отримується шляхом підсумовування за всіма подіями, тобто: підсумовуванням за всіма s і всіма $j_s, \ldots, j_{s-1}$ та інтегруванням за всіма проміжними моментами $t_1, \ldots, t_s$.

Результат, записаний у перетвореннях Лапласа, такий:

$$\hat{P}_{jj_0}(\lambda) = \hat{u}_j(\lambda)\left[\frac{1}{1-\hat{V}(\lambda)}\right]_{jj_0}, \qquad (15)$$

де $\hat{u}_j(\lambda)$ — перетворення рівняння (14), а матриця $\hat{V}$:

$$\hat{V}_{ij}(\lambda) = \int_0^\infty \gamma_{ij}(\tau)u_i(\tau)e^{-\lambda\tau}d\tau$$

У деяких випадках результат (15) можна оцінити явно.

Модельна задача 3. Транспортування іонів крізь мембрану. Запропоновано наступну модель [19]. Мембрана розділяє два резервуари, іони можуть надходити з лівого або з правого резервуара. Швидкість, з якою вони надходять (тобто ймовірності в одиницю часу), визначаються двома зовнішніми рідинами з обмеженням: всередині мембрани не може бути більше одного іона. Потрапляючи всередину, іон може вийти через деякий час з будь-якої сторони. Таким чином, внутрішня частина мембрани являє собою систему, що має 5 станів:

(0) порожній;

(1) один іон, який увійшов ліворуч і має вийти праворуч;

(2) один іон зліва, має вийти зліва;

(3,4) два схожі стани з іонами справа.

Виходи відбуваються з ймовірностями γ_{oj} за одиницю часу ($j = 1,2,3,4$), які залежать від часу t, що минув з моменту входу іона. Це немарківський процес типу (15). Рівняння може бути розв'язане і дає можливість обчислити такі фізично значущі величини, як середнє значення струму, що переноситься, і спектр флуктуацій [20].

Висновок. У статті автором надано результати власних та існуючих досліджень, пов'язаних з конструкцією і впровадженням немарковських процесів. Отримані результати постульовані з метою подальшого вивчення і застосування для вивчення, зокрема, кіберпростору. Є надія, що в роботах з іншими авторами будуть розвинуті отримані результати і розв'язані модельні проблеми, які виникли, зокрема в криптографії, теорії інформації і кодування.

Бібліографічні посилання

1. van Kampen N.G., Stochastic Processes in Physics and Chemistry (North-Holland, Amsterdam 1981, 1992).

2. Gardiner C.W., Handbook of Stochastic Methods (Springer, Berlin 1983).

3. Zernike F., in Handbuch der Physik III (Geiger and Scheel eds., Springer, Berlin 1926).
4. Doi M., Edwards S.F., The Theory of Polymer Dynamics (Oxford Univ. Press 1986).
5. Dzhalladova, I., Kaminsky, O., Lutyj, O. The impact of the consequences of the Covid-19 pandemic on the social security of Ukraine. *Access to science, business, innovation in digital economy*, Bulgarian, ACCESS Press, 2(3) pp. 252-260. https://doi.org/10.46656/access.2021.2.3(4)
6. Feller W., An Introduction to Probability Theory and its Applications I (2nd ed., Wiley, New York 1966) p. 323.
7. Kramers H.A., Physica 7, 284 (1940).
8. Schuss Z., Matkowski B., SIAM J. Appl. Math. 35, 604 (1970).
9. Hänggi P., Talkner P., Berkovich M., Rev. Mod. Phys. 62, 251 (1990).
10. Faetti E.g. S., Grigolini P., Phys. Rev. A 36, 441 (1987); M.J. Dykman, Phys. Rev. A 42, 2020 (1990).
11. Hänggi P. and Riseborough P., Phys. Rev. A 27, 3379 (1983); C. Van den Broeck and P. Hänggi, Phys. Rev. A 30, 2730 (1984). For an application to lasers see S. Zhu, A.W. Yu, and R. Roy, Phys.. Rev. A 34, 4333 (1986).
12. van Kampen N.G., Physica 74, 215 and 239 (1974); Physics Reports 24, 171 (1976); J. Stat. Phys. 54, 1289 (1989); Terwiel R.H., Physica 74, 248 (1974).
13. R. Kubo, in Stochastic Processes in Chemical Physics (K.L. Shuler ed., Interscience, New York 1969).
14. E.g. Bray A.J., McKane A.J., Phys. Rev. Letters 62, 493 (1989); D.T. Gillespie, Am. J. Phys. 64, 1246 (1996).
15. Much literature is given in Fulinski A., Phys. Rev. E 50, 2668 (1994).
16. R.F. Pawula, J.M. Porrà, and J. Masoliver, Phys. Rev. E 47, 189 (1993); J.M. Pontà, J. Masoliver, and K. Lindenberg, Phys. Rev. E 48, 951 (1993).
17. G.H. Weiss, J. Stat. Phys. 8, 221 (1973); K.J. Lindenberg and R. Cukier, J. Chem. Phys. 67, 568 (1977).
18. N.G. van Kampen, Physica A 96, 435 (1979).
19. E. Barkai, R.S. Eisenberg, and Z. Schuss, Phys. Rev. E 54, 1 (1996).
20. N.G. van Kampen, Physica A 244, 414 (1997).
21. Dzhalladova I.A., Kaminsky O. E. Stabilizing steps the security of human and society in the covid-19 pandemic. *Economics Business and Organization Research*, (EBOR) Conference 2020, pp.295-308. Retrieved from https://dergipark.org.tr/en/pub/ebor/issue/58610/848963
22. Dzhalladova I.A., Ruzickova M., Michalkova M. Modeling of applied problems by stochastic systems and their analysis using the moment equations. Adv. Difference Eq. 2013, 2013:152. URL: https://doi.org/10.1186/1687-1847-2013-152
23. Dzhalladova I.A. Moment Equations in Modeling a Stable Foreign Currency Exchange Market in Conditions of Uncertainty. Abstract and Applied Analysis vol. 2013, URL: https://doi.org/10/1155/2013/172847
24. Dzhalladova, Irada & Ruzickova, Miroslava. (2020). Dynamical system with random structure and their applications". Cambridge Sientific Publishers, ISBN: 978-1-908106-66-7
25 Dzhalladova I. A. Research stability of solutions of the systems linear with random coefficient. Studies of the university of Zilina MATHEMATICAL SERIES Zilina, Slovak Republik., Vol. 23/2009. P. 37-43.

26. Dzhalladova I.A., Ruzickova M., Michalkova M. Modeling of applied problems by stochastic systems and their analysis using the moment equations. Adv. Difference Eq. 2013, 2013:152. URL: https://doi.org/10.1186/1687-1847-2013-152

27. Dzhalladova I.A. Moment Equations in Modeling a Stable Foreign Currency Exchange Market in Conditions of Uncertainty. Abstract and Applied Analysis vol. 2013, URL: https://doi.org/10/1155/2013/172847

28. Джалладова, І., Камінський, О. Вплив наслідків пандемії covid-19 на національну безпеку України. InterConf, вип. 41, лютий 2021 року. Retrieved from: https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/8861

29. Джалладова І. А. Системний аналіз загроз соціокібернетичної безпеки в умовах пандемії. *Моделювання та інформаційні системи в економіці*. 2020. Вип.100. С.50-58

30. Джалладова І. А., Бабинюк О. І., Лютий О. І. Модифікація методів дослідження системи різницевих рівнянь з випадковими коефіцієнтами для аналізу загроз соціо-безпеки в умовах пандемії. *Моделювання та інформаційні системи в економіці.* 2020. Вип.99. С.55-69

Статтю подано до редакції 15.11.2021

УДК: 621.73.06 DOI 10.33111/mise.101.6

Дем'яненко В.В. к. е. н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Череда І.В. магістрант 1 курсу
за освітньо-професійною програмою «Системний аналіз», ІІТЕ,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Demianenko V.V., Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor of the department of Computer Mathematics and Informational Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Chereda I.V.
1th grade Master student for the educational and professional program "System Analysis", Institute of Information Technology in Economics,
SHEI KNEU named after V. Hetman

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ АВТОТРАНСПОРТУ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

AUTOMATIZATION OF LOGISTICAL BUSINESS-PROCESSES OF TRANSPORT DISPATCHERIZATION ON INDUSTRIAL ENTERPRIZES

© В. В. Дем'яненко,
І. В. Череда, 2021

Анотація. *Розширення традиційного бізнес-управління логістикою і розвиток сучасної системи теорії управління логістикою — це глобальна проблема, вирішення якої може підвищити ефективність управління, а також знизити витрати підприємства.*
Задача розподілу автотранспорту відноситься до класу задач диспетчеризації, що безпосередньо пов'язані з проблемою розробки нових засобів удосконалення логістичних бізнес-процесів для великих промислових підприємств. Виконання заявок на транспорт можна охарактеризувати як завдання пошуку плану розподілу транспорту для перевезення будь-якого вантажу з урахуванням додаткових обмежень. Додаткові обмеження можуть накладатися на тип або кількість транспортних засобів, довжину маршруту, вантажопідйомність тощо. Рекомендації побудовані на підході до вдосконалення, заснованому на міграції з поточного стану архітектури корпоративних прикладних систем до запланованого. Додаток, розроблений в ході дослідження, значною мірою вирішує питання управління транспортними засобами, документообігу, обліку та розподілу транспортних засобів на підприємстві. Розроблена система більшою мірою вирішує питання керування транспортними засобами, ведення документообігу, що стосується обліку та розподілу автотранспорту, ніж традиційне управління вантажними перевезеннями. Отримані оцінки ефективності впровадження можуть бути використані іншими підприємствами галузі в процесах оптимізації управління логістикою та транспортом.
Ключові слова: *логістична діяльність; управління транспортом; бізнес-процеси; енергетичний сектор; архітектура прикладних систем; портфоліо заявок.*

Abstract. *The expansion of traditional business logistics management and the development of a modern system of logistics management theory is a global problem, the solution of which can increase the efficiency of management, as well as reduce the costs of the enterprise.*
The task of distribution of motor transport belongs to a class of tasks of dispatching which are directly connected with a problem of development of new means of improvement of logistic business processes for the big industrial enterprises. Execution of applications for transport can be described as the task of finding a plan for the distribution of transport for the carriage of any cargo, subject to additional restrictions. Additional restrictions may be imposed on the type or number of vehicles, route length, load capacity, etc. The recommendations are based on an approach to improvement based on the migration from the current state of the architecture of corporate application systems to the planned one. The application, developed during the study, largely addresses the issues of vehicle management, document management, accounting and distribution of vehicles in the enterprise. The developed system solves the issues of vehicle management, document management related to the accounting and distribution of vehicles to a greater extent than the traditional management of freight traffic. The obtained estimates of the effectiveness of implementation can be used by other enterprises in the industry in the process of optimizing the management of logistics and transport.
Keywords: *logistic activities; transport management; business processes; energy sector; architecture of applied systems; application portfolio.*

Постановка проблеми. Розширення традиційного бізнес-управління логістикою і розвиток сучасної системи теорії управління логістикою — це глобальна проблема, вирішення якої може підвищити ефективність управління, а також знизити витрати підприємства. Сьогодні немає єдиної теоретичної системи управління

логістикою та ланцюгами постачання. Дослідження і практика управління ланцюгами постачання все ще знаходяться на стадії сталого розвитку [6]. Таким чином, удосконалення методів управління матеріальними потоками підприємства, що засновані на сучасній теорії управління логістичними ланцюгами постачання, дозволить забезпечити сталий розвиток підприємства.

Галузь логістики вже пройшла кілька етапів автоматизації [13]. Багато компаній впроваджували нові інформаційні технології, що дозволило значно покращити результати їх діяльності. Проте, з огляду на комплексність процесів, логістика як і раніше не позбавлена проблем. Вони пов'язані, зокрема, з особливостями технологій, які використовують логістичні компанії, зі способами зберігання даних, зі ступенем зв'язку бізнес-процесів тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Логістична діяльність включає в себе безліч бізнес-функцій, таких як: управління запасами, транспортом тощо. Суттєві зміни відбулися в області управління ланцюгами постачання (від англ. — Supply Chain Management, SCM), де інформаційні технології використовуються для вирішення широкого кола завдань з метою підвищення ефективності логістичних бізнес-процесів [13]. Використання IT-рішень прискорює не лише стандартизацію й автоматизацію рутинних операцій, але й допомагає виконувати такі завдання, як розвиток компетентності персоналу та пошук нових клієнтів і постачальників. Загалом, інформаційні технології дозволяють організувати єдиний інформаційний простір компанії шляхом збору та збереження даних про логістичну діяльність. Аналіз зібраних даних, у свою чергу, необхідний для прийняття ефективних управлінських рішень.

Системи планування ресурсів підприємства (від англ. — Enterprise Resource Planning, ERP) вперше з'явилися в 90-х роках як розширення концепцій MRP і MRPII (планування вимог до матеріалів) і були націлені на вирішення широкого кола задач [11]. Ці системи і сьогодні використовують великі промислові підприємства. При цьому SCM-застосунки розроблялися як окремий клас програмного забезпечення і за своєю концепцією наслідували дизайн масштабних ERP-рішень [5]. За цією концепцією виділяють три рівні управління: стратегічний, тактичний і операційний, на кожному з яких реалізуються відповідні бізнес-функції [8], такі як:

- планування попиту;
- планування доставки і складання розкладу;
- управління запасами;
- управління взаємовідносинами з клієнтами;
- бізнес-аналіз і прогнозування та ін.

При цьому, незважаючи на те, що ряд функцій SCM-додатків відповідає завданням ERP-системи та охоплює широке коло управлінських задач [8], їх складність є однією з основних проблем впровадження проектів автоматизації [9]. З іншого боку значні можливості цих систем використовуються на практиці не в повній мірі.

У роботі [12] відображено, що тісна інтеграція інформаційних технологій з логістичними процесами повинна бути передумовою для оптимізації організаційної структури транспортної компанії з метою підвищення ефективності прийняття управлінських рішень у відповідності зі стратегією організації.

На сьогоднішній день управління логістичними процесами передбачає широке використання мобільних та бездротових технологій. Очікується, що в найближчі кілька років поширення отримають рішення з голосовим управлінням. Дослідження 2017 року з автоматизації процесів управління ланцюгами постачання [3] показало, що 37 % респондентів зацікавлені в таких досягненнях, в той час як лише 18 % в даний час використовують ці технології. Крім того, очікується більш широке впровадження автоматизованих механічних пристроїв на промислових об'єктах, які будуть ідентифікувати і транспонувати предмети та керувати ними через мобільні додатки.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Логістичні компанії та підприємства із розвинутою системою логістики часто при виборі системи управління покладаються на такі характеристики, як популярність розробника програмного забезпечення, вартість програмного продукту тощо. Ця особливість може спричиняти низьку ефективність використання інформаційних систем управління ланцюжком постачання, як в рамках ERP, так і в автономних системах управління логістикою. Це відбувається через те, що менеджери, що працюють у системі управління логістикою мають недостатню підготовку у сфері IT, а IT-фахівці не володіють, у свою чергу, достатніми знаннями в області логістики.

Очевидно, що за таких умов впроваджена інформаційна система не може розкрити свій потенціал повною мірою, а стає лише частиною інструментарію підприємства. Така система націлена на вирішення тільки питань оперативного обліку й автоматизації повторюваних завдань. Таким чином, значна частина інвестування в IT-рішення для управління ланцюгами постачання виявляється даремною. Актуальним завданням є вивчення методів і підходів більш ефективної і послідовної інтеграції бізнес-процесів керування логістикою та інформаційних технологій.

Постановка задачі. Задача розподілу автотранспорту відноситься до класу задач диспетчеризації, що безпосередньо пов'язані з проблемою розробки нових засобів удосконалення логістичних бізнес-процесів для великих промислових підприємств. Виконання заявок на транспорт можна охарактеризувати як завдання пошуку плану розподілу транспорту для перевезення будь-якого вантажу з урахуванням додаткових обмежень. Додаткові обмеження можуть накладатися на тип або кількість транспортних засобів, довжину маршруту, вантажопідйомність тощо.

Виклад основного матеріалу. Доцільно розглянути задачу про призначення у вигляді визначення найкращого плану розподілу заявок на транспортні засоби між різними виконавцями.

Розглянемо задачу в умовах, коли кількість заявок на перевезення та виконавців однакова і дорівнює m. Нехай одна заявка може мати одного і тільки одного перевізника, тоді загальна кількість альтернативних планів розподілу у такому випадку обчислюється за формулою перестановки ($m! = 1 \cdot 2 \cdot \ldots \cdot m$). Наприклад, вже при $m = 10$ матимемо 10! = 3 628 800 різних планів призначень. Порівняння між собою такої кількості результатів без використання спеціальних засобів практично неможливо.

Багатоваріантність можливих допустимих розв'язків даної задачі й обмеження предметної області обґрунтовують застосування апарату економіко-математичного моделювання.

Позначимо кількість заявок на транспортні засоби через m, а кількість можливих виконавців через n. Нехай i — індекс окремої заявки ($i = \overline{1,m}$), а j — індекс окремого перевізника ($j = \overline{1,n}$).

Уведемо логічні змінні x_{ij}, зі значенням 1, що відповідає призначенню заявки, та значенням 0, що відповідає відмові від призначення i-ої заявки j-му перевізнику ($i = \overline{1,m}$; $j = \overline{1,n}$):

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \textit{якщо } i-\textit{ту заявку буде доручено } j-\textit{ому перевізнику} \\ 0, \textit{у супротивному випадку} \end{cases}$$

Кількість перевізників, яким буде доручено виконати i-ту заявку, буде дорівнювати сумі:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}, i = \overline{1,m}$$

а кількість заявок, які будуть доручати окремому j -му виконавцю, — сумі:

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij}, j = \overline{1,n}$$

У випадку, коли потрібно виконати всі заявки за умов, що кожному перевізнику буде доручатися одна й тільки одна заявка (причому кількість заявок на транспортні засоби збігається з кількістю виконавців ($m = n$)), довільний допустимий план $X = \|x_{ij}\|_{(m \times m)}$ розподілу заявок між виконавцями має задовольняти обмеження:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1, i = \overline{1,m} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1, j = \overline{1,m} \quad (2)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, i, j = \overline{1,m} \quad (3)$$

Наведені формули означають:

(1) — кожну заявку слід доручити одному і тільки одному виконавцю;

(2) — кожному перевізнику слід доручити одну і тільки одну заявку;

(3) — кожна із логічних змінних може набирати одне із двох значень: 1 або 0.

Припустимо, що кожен з перевізників виконує заявку на транспортний засіб за індивідуальними тарифами. Позначимо c_{ij} як вартість виконання i-ої заявки j-м перевізником, причому матриця тарифів $C = \|c_{ij}\|_{(m \times m)}$ є відомою. Тоді загальні витрати z, пов'язані із реалізацією плану X розподілу заявок між перевізниками, обчислюються:

$$z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij} \to min$$

Враховуючи вигляд обмежень та цільової функції, дана задача може бути розв'язана одним із алгоритмів Гоморі [2].

У контексті логістичної діяльності задачі оптимізації плану розподілу заявок між перевізниками за критерієм мінімізації загальної вартості виконання усіх перевезень є досить поширеними.

Одним із поширених критеріїв у задачах оптимізації логістичних рішень є також мінімізація тривалості перевезень. Наприклад, якщо відомі дані про можливу швидкість автотранспорту та відстань, тривалості перевезень складають матрицю $T = \|t_{ij}\|_{(m\times m)}$, а загальна тривалість v визначається як час найбільш тривалого перевезення (за умови, що всі перевезення розпочинаються в один час).

Отже, якщо маємо допустимий план призначень X, тривалість v його виконання обчислюватиметься за формулою:

$$v = \max_{i,j=\overline{1,m}} \{t_{ij}x_{ij}\} \to min$$

Серед показників та параметрів, що використовуються у моделі, можуть також використовуватись витрати палива, вантажомісткість або швидкість перевезення тощо.

Дані про оптимальний план перевезення та інші супутні результати обчислення становлять інформаційний потік у системі. У якості супровідної інформації, що використовується для прийняття рішень у процесах диспетчеризації, виступають дані про місцезнаходження транспорту, маршрут слідування, деталі про вантаж, включаючи умови перевезення та зберігання тощо. Сучасні засоби обробки інформації здатні забезпечити безперервний потік цих даних у реальному часі.

Проте, в той час як завдання формування плану перевезень може бути виконане з допомогою вищеописаної моделі, однією із поширених вимог бізнесу є можливість коригування даного плану у випадку форс-мажорних ситуацій.

Крім того, враховуючи географічну розповсюдженість, високу мобільність транспортних засобів та специфіку певних галузей, розмір автопарку великого промислового підприємства, призначити єдиний оптимальний транспортний засіб для перевезення конкретного вантажу стає неможливо.

Складність практичного застосування моделей, що базуються на точних розрахунках полягає в тому, що в таких моделях не враховується ряд особливостей, таких як:

- взаємодія фінансових та інформаційних потоків [4];
- складність та швидкість обчислення розв’язку крайових задач при значному обсязі автопарку підприємства, яка зростає подібно до задач класу NP-complete [10].

Натомість пропонованим рішенням є застосування до даної моделі елементів евристичних алгоритмів, таких як, обчислення та сортування можливого пулу транспортних засобів засобами фільтрації.

Система управління транспорту, що пропонується, побудована на інтеграції клієнт-серверної архітектури із засобами автоматизованої бізнес-аналітики. Дане рішення було реалізовано за допомогою середовища розробки бізнес-додатків Power Apps від компанії Microsoft, та середовища для розробки аналітичних звітів Power BI від Microsoft. Особливість цих програмних середовищ насамперед у тому, що вони дозволяють створювати додатки та звіти, доступні перегляду із будь-якого пристрою із доступом до мережі Інтернет. При цьому користувач не потребує доступу до стаціонарного комп'ютера [7; 1]. Інформаційна архітектура рішення побудована на базі Microsoft SQL Server, що формує інтеграційне ядро майбутньої логістичної системи.

У процесі розробки таких рішень варто розуміти вимоги бізнесу, що спираються на поняття мінімізації витрат, максимізації вигоди та можливості впровадження без переривання діяльності компанії.

Отже, використовуване середовище для розробки бізнес-додатку Power Apps дозволяє на практиці реалізувати дану архітектуру у взаємодії інформаційних потоків. Завдяки цьому стало можливим задовольнити наступні вимоги:

- *інформаційна безпека* — застосована рольова модель розмежування доступу та взаємодії з даними у системі;
- *швидка та безперебійна робота* — реалізований зв'язок із системою, що відбувається цілодобово й у режимі реального часу;
- *оптимальність та пріоритетність запитів* — застосована модель типової задачі про призначення до показників транспортних засобів, а засобами фільтрації та сортування налаштовано відображення транспортних засобів, придатних для призначення;
- *моніторинг діяльності* — налаштовано швидке формування актуальних звітів з діяльності управління транспорту на основі оброблюваних у системі документів (заявок).

Зміни обсягу витрат на транспортування товарів і вантажів, часу, що витрачається на виконання всього комплексу логістичних послуг, а також ступеню використання транспортного забезпечення компанії (коефіцієнт використання автопарку) складають основу економічного ефекту даного рішення, та обчислюються за показниками діяльності підприємства.

При відборі транспортного засобу на призначення система перевіряє одразу кілька параметрів. Першочерговою перевіркою є

доступність, що визначається статусом експлуатації транспортного засобу. Далі, у роботі з терміновими заявками важливішим показником буде вважатися швидкість чи час доставки, а наприклад для товарів споживання суттєвішими стануть витрати палива. У той же час для процесів перевезення пасажирів найважливішим критерієм є безпека, і тому серед усіх легкових транспортних засобів вищий пріоритет матимуть ті, що мають менший пробіг.

Висновки. Логістичне рішення, охарактеризоване вище, розроблялося для ПАТ «Укрнафта», найбільшої нафтовидобувної компанії України. Підхід до вдосконалення, заснований на міграції від наявного стану архітектури прикладних систем до бажаного, був узятий за основу системи, призначеної для управління автомобільним транспортом на ПАТ «Укрнафта».

Особливо актуальним для таких великих промислових підприємств енергетичного сектору (таких, як ПАТ «Укрнафта») є можливість ведення обліку вантажної, будівельної та іншої спецтехніки. Розроблена система дозволяє вести облік змішаних автопарків. ПАТ «Укрнафта» — це підприємство, що має складну багаторівневу організаційну структуру, в якій автомобільний парк обслуговує незавершені операції, які дуже часто виконуються за різними графіками.

Враховуючи вищевикладене, можна підсумувати, що розроблена система вирішує не тільки питання традиційного управління вантажними перевезеннями. Вона робить більший акцент на керування транспортними засобами та ведення електронного документообігу, що стосується обліку та розподілу автотранспорту. Такий підхід не зовсім звичний для українського ринку інформаційних систем управління транспортом і логістикою, тим не менш, він показує позитивні результати. У довгостроковій перспективі, отримані результати впливають як на витрати підприємства на управління транспортом, його закупівлю та оренду, так і заощаджують витрати на ресурси (паливо, запчастини тощо) та апаратне забезпечення.

Бібліографічні посилання

1. Вимоги до системи, обмеження та значення конфігурацій для програм із полотна. URL: https://docs.microsoft.com/uk-ua/powerapps/maker/canvas-apps/limits-and-config (дата звернення: 04.05.2021)

2. Метод Гоморі (метод відсікаючих площин). URL: https://www.mathros.net.ua/metod-gomori-metod-vidsikajuchyh-ploshhyn.html (дата звернення: 10.05.2021)

3. Automation Study: The State of Automation. URL: https://www.logisticsmgmt.com/article/automation_study_the_state_of_automation (дата звернення: 15.04.2021)

4. Barykin, S.; Gazul, S.; Kiyaev, V.; Kalinina, O.; Yadykin, V. Forming Ontologies and Dynamically Configurable Infrastructures at the Stage of Transition to Digital Economy Based on Logistics. Adv. Intell. Syst. Comput. 2020, 1116, 844–852.

5. Farahani R. Z., Rezapour S., Kardar L., (2011). Logistics Operations and Management. Concepts and Models, Elsevier.

6. Finke G, Strusevich A, Werner F. Scheduling for modern manufacturing, logistics, and supply. Comput Operat Res 2009; 36: 299–300.

7. Get started with Power BI Desktop URL: https://docs.microsoft.com/uk-ua/power-bi/fundamentals/desktop-getting-started (дата звернення: 04.05.2021)

8. Gulledge, T., Cavusoglu, T., Kessler, T., (2001). Aligning the Supply Chain Operations Reference (SCOR) Model with Enterprise Applications: Real Time Value Chain Intelligence. Proceedings of the Workshop on Supply Chain Management Practice and Research, University of Maryland.

9. Misra, V., Khan, M.I., Singh, U.K., (2010). Supply Chain Management Systems: Architecture, Design and Vision. Journal of Strategic Innovation and Sustainability. vol. 6(4), 102-108.

10. Papageorgiou, Anargyros & Woźniakowski, H. (2007). The Sturm-Liouville Eigenvalue Problem and NP-Complete Problems in the Quantum Setting with Queries. Quantum Information Processing. 6. 101-120. 10.1007/s11128-006-0043-0. URL: https://www.researchgate.net/publication/225465716_The_Sturm-Liouville_Eigenvalue_Problem_and_NP-Complete_Problems_in_the_Quantum_Setting_with_Queries (дата звернення: 10.05.2021)

11. Renko, S., (2011). Supply Chain Management — New Perspectives, InTech.

12. Sternberg H., Hagen A, Paganelli P., Lumsden K., (2010). Intelligent cargo -enabling future's sustainable and accountable transportation system. World Journal of Science, Technology and Sustainable Development, Vol. 7 Iss 3, 253–26

13. Waters, D., Rinsler S., (2014). Global Logistics: New Directions in Supply Chain Management, Seventh Edition, Kogan Page.

Статтю подано до редакції 21.11.2021

УДК: 338.1:334.7 DOI 10.33111/mise.101.7

Єрешко Ю.О., к. е. н., доцент,
доцент кафедри економічної кібернетики
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Камінський О.Є., д. е. н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

© Ю. О. Єрешко,
О. Є. Камінський, 2021

Yereshko Y., PhD in Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics
NTUU "Igor Sicorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Kaminsky O., Doctor of Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Computer Mathematics
and Informational Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman

ВАРІАЦІЇ ЕКОСИСТЕМ СИНЕРГЕТИЧНОГО РОЗВИТКУ КЛЮЧОВИХ ІННОВАЦІЙНИХ ЕКОНОМІЧНИХ АГЕНТІВ

VARIATIONS OF ECOSYSTEMS FOR KEY INNOVATIVE ECONOMIC AGENTS SYNERGISTIC DEVELOPMENT

Анотація. *Перехід економіки на інноваційний шлях — це не тільки об'єктивно необхідний етап її розвитку, а й новий якісний стан, що передбачає кардинальні зміни в структурі економіки України й в повній мірі сприятиме реалізації інноваційного потенціалу. Стрижнем інноваційного розвитку в сучасному світі стає інтелектуалізація економічних систем, фактором же нерівномірності і одночасно розвитку, в сучасному розумінні, тобто розвитку інноваційного є інтелектуальний капітал, що продукує інноваційний спалах, який за відповідного працюючого механізму перетворюється в рушій розвитку. Основою розв'язання проблеми ресурсного забезпечення розвитку економічних агентів є об'єднання їх зусиль і можливостей у спільному інноваційному перетворенні — синергетичній еволюції. Постає потреба аналізу можливих напрямків такого спільного розвитку інноваційних економічних агентів у їх сукупності. Одним із векторів розвитку синергії економічних агентів автори вважають технологію адитивного виробництва. Метою статті є розробка теоретико-методологічної бази реалізації синергетичного розвитку, інноваційної та інтелектуальної трансформації економічних агентів. В роботі розроблено програму стимулювання інвестиційного попиту, що включає актуалізовану на основі результатів проведеного дослідження модель венчурування та модель інноваційної екосистеми на базі інтелектуального капіталу університетів. В роботі одним із векторів розвитку синергії економічних агентів названо технологію адитивного виробництва (АМ), яка на думку ряду дослідників, стане основою наступної промислової революції, розширивши можливості звичайних виробничих систем за рахунок використання інтелектуального капіталу. Проблема пошуку варіацій екосистем і моделей синергетичного розвитку економічних агентів відкриває широке поле для подальших досліджень, а також, ставить питання формулювання практичних рекомендацій в даній площині.*
Ключові слова: *синергетичний розвиток, інновації, цифрова трансформація економіки, інтелектуальний капітал.*

Abstract. *The transition of the economy to an innovative path is not only an objectively necessary stage of its development, but also a new qualitative state, which provides for radical changes in the structure of Ukraine's economy and will fully contribute to the realization of innovation potential. The core of innovative development in the modern world is the intellectualization of economic systems, a factor of unevenness and at the same time development, in the modern sense, ie the development of innovation is intellectual capital, which produces an innovative flash, which with the appropriate working mechanism becomes the driving force. The basis for solving the problem of resource provision for the*

development of economic agents is to combine their efforts and capabilities in a common innovative transformation — synergistic evolution. There is a need to analyze the possible directions of such joint development of innovative economic agents in their entirety. The authors consider the technology of additive production to be one of the vectors for the development of the synergy of economic agents. The purpose of the article is to develop a theoretical and methodological basis for the implementation of synergetic development, innovation and intellectual transformation of economic agents. The program of investment demand stimulation is developed in the work, which includes the updated model of venturing on the basis of the results of the conducted research and the model of innovative ecosystem on the basis of intellectual capital of universities. One of the vectors for the development of synergy of economic agents is the technology of additive production (AM), which, according to some researchers, will be the basis of the next industrial revolution, expanding the capabilities of conventional production systems through the use of intellectual capital. The problem of finding variations of ecosystems and models of synergetic development of economic agents opens a wide field for further research, as well as raises the question of formulating practical recommendations in this area.
Keywords: *synergetic development, innovations, digital transformation of the economy, intellectual capital.*

Постановка проблеми. Останні розробки в області передових технологій, включаючи штучний інтелект, робототехніку та біотехнологію, показали їх величезний потенціал для економічного розвитку. Тим не менш, вони також ризикують посилити нерівність між людьми, посилюючи та створюючи новий цифровий розрив між технологічно богатими та бідними. Пандемія COVID-19 ще більше виявила цю дихотомію. Технології є важливим інструментом для боротьби з поширенням хвороб, але не всі мають рівний доступ до їх переваг. Основою інноваційного розвитку в сучасному світі є інтелектуалізація економічних систем, тоді як фактор нерівномірності і, разом з тим, інноваційного розвитку, у сучасному розумінні, є інтелектуальний капітал, що продукує інноваційне зростання, та перетворюється в рушій розвитку. При цьому, для перетворення інноваційного спалаху на інноваційний потік наріжним є початковий ефективний попит на інновації, оскільки в результаті його відсутності можливими стають два наступні сценарії: 1) інноваційний спалах затухає не перетворившись на інноваційних потік; 2) інноваційний спалах привласнюється екзогенними економічними агентами або системами, не створюючи фактору зростання системі внутрішній. Обидва сценарії, на жаль, притаманні вітчизняній економічній системі і опосередковують специфічність її розвитку.

Попит на винаходи і розробки з боку економічних агентів є доволі нерівномірним, що пояснюється специфічністю і різнорідністю спектру їх потреб та інтересів. При цьому, в умовах фінансово-економічної нестабільності і почасти низького стартового

рівня розвитку, агенти вимушені до пріоритизації господарських потреб, зважаючи на власні обмежені можливості. Тобто, кожен економічний агент з одного боку воліє еволюціонувати, з іншого, — наріжними потребами залишаються, в першу чергу, виживання і стабілізація. Хоча, досвід господарювання доводить, що забезпечення стійкості в довгостроковій перспективі не можливе без розвитку. І, розвитку, за своїм характером інноваційного. В специфічних вітчизняних умовах, виходячи із прагнення до максимізації економічного ефекту, економічні агенти здійснюють ітеративний відбір пріоритетних для задоволення, переважно у даний конкретних момент, потреб та інтересів. Це ранжування відбувається на тлі історично усталених особливостей господарювання як спадщини командної економіки і браку ринкового досвіду функціонування, порівняно з розвиненими економіками світу. Таким чином, значна частка економічних агентів залишається поза інноваційним процесом, з одного боку не усвідомлюючи наріжності розвитку, з іншого — не маючи достатньої кількості ресурсів для його втілення.

Вважаємо, що основою розв'язання проблеми ресурсного забезпечення розвитку економічних агентів є об'єднання їх зусиль і можливостей у спільному інноваційному перетворенні — синергетичній еволюції. Відтак, постає потреба усвідомлення можливих напрямків такого спільного розвитку інноваційних економічних агентів у їх сукупності, що дозволить формування фундаменту їх трансформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика закономірностей і ресурсів розвитку знаходить своє відображення в науковому доробку з початку існування економічної думки, зокрема у працях Й. Шумпетера, Р. Солоу, В. Вернадського, М. Згуровського, А. Сміта, Д. Рікардо, Г. Менша, М. Кондрат'єва, П. Дракера, У. Петті та інших провідних вчених. Важливість забезпечення внутрішнього ефективного попиту на інновації доведена у теоріях ендогенного економічного зростання і висвітлена зокрема: П. Хьюїтом, Р. Лукасом, П. Ромером, Дж. Стігліцом та ін. Ідеї синергетичного розвитку економічних агентів викладені, серед інших, Г. Сільверберґом та Г. Іцковицем.

Водночас, існуючий доробок бракує довершених теоретичних напрацювань і практичних рекомендацій стосовно формування і втілення синергетичних засад інноваційної трансформації та синергетичної еволюції економічних агентів.

Метою статті є розробка теоретико-методологічної бази реалізації синергетичного розвитку, інноваційної та інтелектуальної трансформації економічних агентів.

Виклад основного матеріалу дослідження. З огляду на ключову роль ефективного внутрішнього попиту на інновації, для актуалізації механізму науково-технічного розвитку, його доцільно представити у вигляді функціонально-ринкової схеми взаємодії економічних агентів, що дозволить виявлення напрямку впливів і розробку відповідних важелів (рис. 1).

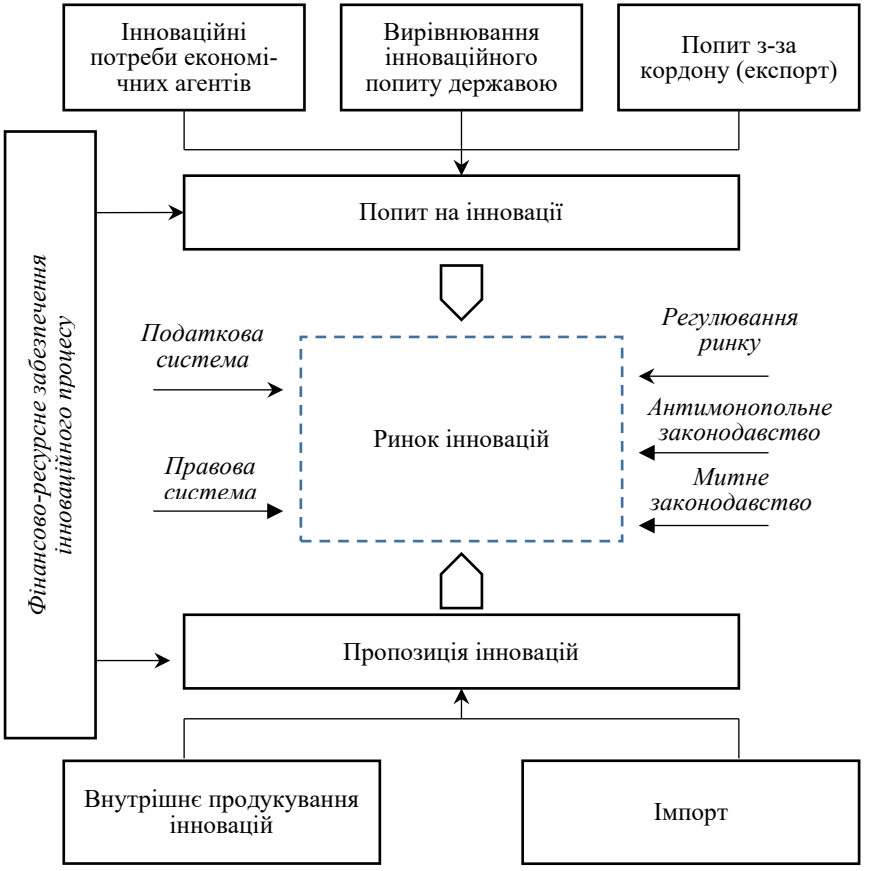


Рис. 1. Функціонально-ринкова схема механізму науково-технічного розвитку (*побудовано авторами*)

Потреба у забезпеченні сталого інноваційного попиту з боку економічних агентів з метою відповідного позитивно впливу і на пропозицію, зокрема внутрішню, актуалізує задачу підтримки наукоємного і наукопродукуючого секторів економіки. Разом з тим,

результати проведеного дослідження свідчать про раціональність, як з боку ефективності стимулюючого впливу, так і з боку ресурсного забезпечення, саме лібералізуючого представлений механізм втручання. Ринкова економіка являє собою насамперед рівність можливостей, а не рівність результатів. Тобто, стимулювання науково-технічного розвитку має виходити із надання економічним агентам ширших можливостей у задоволені інноваційних потреб під час описаного вище процесу відбору пріоритетів.

Спільною проблемою більшості посттоталітарних економік є низький рівень розвитку економічних агентів та аналогічна низька сукупна факторна продуктивність. І, як показує практика та проведене дослідження, однією з перепон є обмеження економічної свободи на тлі і як наслідок монополізації ринків, бюрократизації господарювання, спірної та неефективної правової системи, неналежної економічної безпеки тощо. Розвинені економіки світу досягли цього розвитку завдяки лібералізації, зокрема в рамках Тетчеризму та Рейгономіки, водночас, сьогодні значна частина світових лідерів все більше тяжіє до соціалізму та посилення ролі держави, тобто логічному обмеженні економічної свободи.

Загалом, у питанні забезпечення економічної свободи не склалося однозначної думки і умовно існуючі концепції можна поділити на негативну і позитивну, на свободу вибору мети і свободу вибору засобів її досягнення. При цьому, дійсна свобода означає свободу безумовну, без прив'язки до інструментів чи засобів [1]. Свобода економічних агентів — їх фундаментальне право діяти у власних інтересах і розвиватись, одночасно спричинюючи і забезпечуючи еволюцію всієї економічної системи в сукупності. І належний її рівень є чільним у багатстві націй, що підтверджується аналітичними звітами. Вільними вважаються 5 економік світу: Сінгапуру, Нової Зеландії, Австралії, Швейцарії та Ірландії, вітчизняна ж економіка за показником економічної свободи займає 127 позицію із 184 охоплених Звітом країн [2].

Номінальність контрадикції інституціоналізму і неокласичної парадигми доволі наочно ілюструється зміною фокусу: переміщення розвитку людини в центр механізму загального сталого розвитку забезпечує умовам всіх розвиткових концепцій. Так, формування людського та інтелектуального капіталу (ідейна основа інституціоналізму) стає основою розвитку конкурентних ринків (неокласична парадигма), що з рештою, визначає сталий розвиток системи в макроекономічній площині (центральний фокус Кейнсіанства). Тобто, розвиток відбувається логічно-послідовно, спіралевидним рухом. При цьому, всі економічні агенти та елементи

системи вищого порядку знаходяться не тільки у прямому, але і зворотному взаємозв'язку, а також, впливають і відчувають вплив глобального економічного співтовариства.

Варто наголосити, що обґрунтована у [3] п'ятивузлова синергія заснована не на концепції «залежного розвитку» «в наздогін лідерам», а сутнісно протилежній їй концепції економічної свободи, за якої розвиток економічних агентів відбувається не в залежності одного від іншого, не на засадах загальноприйнятих «працюючих» рецептів розвитку в кабалі вторинної модернізації а, навпаки, — свобода кожного агента діяти, свобода у виборі цілей і засобів задоволення власних інтересів виокреслює органічну спільну траєкторію еволюції системи в цілому, виходячи із специфічних, притаманних їй потреб і особливостей.

Таким чином, забезпечення технологічного, а відтак, і фундаменту для економічного та сталого розвитку України, потребує удосконалення існуючої структури функціональних взаємозв'язків з точки зору як агентної ретроспекції, так і синергії всіх економічних агентів (рис. 2).

І, якщо людині, як початковому носієві інтелектуального капіталу, при цьому відводиться роль системоутворюючого елемента, то державі — роль елемента системорегулюючого. Всі економічні агенти в сукупності, впливаючи один на одного і виходячи із задоволення власних потреб та інтересів, регулюють систему органічно, проте саме держава має здійснювати специфічний подвійний вплив: як економічного агента в спільній, дотичній регуляції, так і специфічного агента, що випливає із її сутності, природи та першочергової причини існування. Саме в силах і в межах компетенції держави є забезпечення дотримання прав і свобод, зокрема свободи економічної, приватної власності, комплексне стимулювання та організація інноваційно-технологічної трансформації, забезпечення правової, екологічної, соціальної безпеки, економічної стабільності тощо.

Основою державного впливу бачимо стимулювання інноваційної трансформації системи за рахунок лібералізації та дебюрократизації господарського механізму, а також, створення сприятливого бізнесового середовища. Основу державного впливу можна умовно представити у двох напрямках, які, все ж, передбачені нами у комплексному провадженні: 1) заснування технологічних платформ, що забезпечують реалізацію синергетичного розвитку економічних агентів — технопарків, інноваційних екосистем, систем адитивного виробництва; 2) цільові та цільові комплексні програми, що забезпечують розвиток фундаментальної та прикладної науки, а також, фінансування інноваційного процесу.

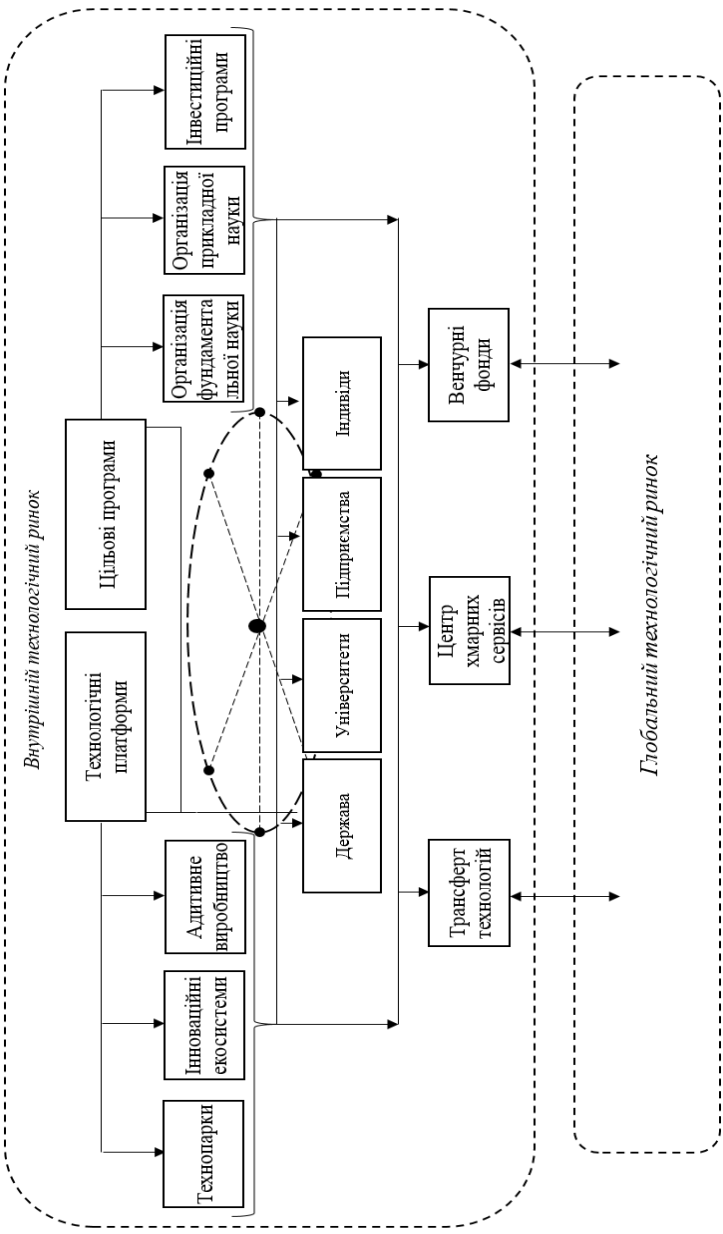


Рис. 2. Структура функціональних взаємозв’язків економічних агентів в механізмі розвитку (*розроблено авторами*)

При цьому, варто наголосити, що тягар фінансування інновацій і технологічного розвитку не може і не має бути покладений на державу — її задача полягає у сприянні і стимулюванні інноваційно-інвестиційної діяльності з позиції розвитку фінансового ринку, венчурних та інших інвестиційних фондів.

Таким чином, держава отримує специфічну їх за природою роль — стимулювання інноваційного попиту. Тобто, вирівнювання недостатнього ефективного попиту на продуковані внутрішніми економічними агентами інновації, що забезпечуватиме розвиток інноваційного спалаху і його перетворення на інноваційний потік.

Тому, в рамках механізму сталого розвитку доцільною є розробка програми стимулювання інвестиційного попиту, що включатиме актуалізовану на основі результатів проведеного дослідження модель венчурування (рис. 3):

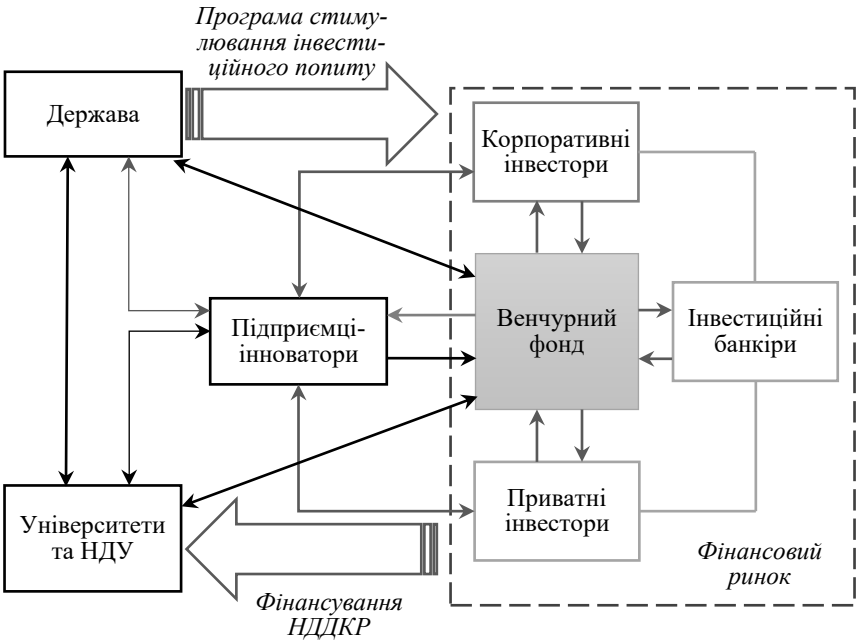


Рис. 3. Актуалізована модель венчурування для України в рамках механізму стимулювання інвестиційного попиту (*розроблено авторами*)

Проведений попередньо у [4] аналіз моделі венчурування в Україні та світового досвіду дозволив заключити зокрема про доцільність раціонального поєднання державної, приватної та науково-дослідної складових інвестиційного процесу, тобто про необхідність у залученні університетів, дослідників та наукової еліти до венчурної індустрії. Крім того, аналіз особливостей венчурного інвестування в Україні дає підстави зробити висновок про те, що вітчизняна модель венчурної діяльності не відповідає органічній та ефективній американській та європейській моделям. Таким чином, пропонується оновити її з позиції обґрунтованих попередніх висновків. Крім того, на перший план виходить оптимізація відповідного законодавства з метою переміщення фокусу від інститутів венчурного капіталу на інновації, а не на фінансування фінансово-промислових груп, сільського господарства та торгівлі.

Формування венчурного фонду здійснюється трьома основними групами інвесторів: корпоративними та приватними, а також, інвестиційними банкірами. Роль держави у фінансах фонду зводиться більшою мірою до стимулювання, ніж до безпосередньої участі у капіталі. Грошові потоки зображено на рисунку сірим, змішані та інтелектуальні — чорним. Задача інвестиційних банкірів полягає у перетворенні інвестицій, здійснених фондом у підприємство на фінансові інструменти та подальшою їх реалізацією на ринку. Загалом, фінансування інноваційної та науково-дослідної діяльності відбувається і поза межами фонду — до прикладу, у вигляді обігу облігацій, або портфельного інвестування.

Роль університетів та науково-дослідних установ полягає у «постачанні» інтелектуального капіталу (у вигляді ідей, розробок, кадрів, компетенцій тощо) підприємцям, інвесторам та венчурним фондам, а також, участі у відборі проєктів, що отримуватимуть фінансування. Остання дозволяє забезпечення реалізації саме новаторських ідей, фінансування інновацій і покликана на елімінацію мотивів імітації венчурування з метою мінімізації оподаткування великими фінансово-промисловими групами. Участь науковців і дослідників у інноваційному процесі, також, забезпечує йому ітеративності. Тобто, науковці, з одного боку можуть реалізувати власні ідеї, з іншого, вони усвідомлюватимуть позицію ринку і його потреби у конкретних розробках, а також, університети матимуть можливість альтернувати підготовку наукових і дослідницьких кадрів під потреби ринку і нові інноваційні виклики. Таким чином, забезпечується безпосередній зв’язок між джерелом та фінансуванням інноваційного процесу. Причому, цей зв’язок має по-

двійну направленість, забезпечуючи з одного боку органічний відбір інноваційних проєктів для втілення, з іншого — відправні точки генерації нових ідей, актуальних для ринку.

Актуалізація моделі венчурування є лише однією складовою комплексної програми стимулювання внутрішнього попиту на інновації попиту, яка передбачає також:

1. Забезпечення макроекономічної стабільності, що є основою перетворення інноваційного ресурсу на інноваційний попит. До основних заходів і таргетів можна віднести: стабільну політичну систему, стабільний і ліберальний економічний курс, інфляційне таргетування, стабільність фінансово-грошової системи тощо.

2. Забезпечення економічної свободи, що реалізує органічний розвиток економічних агентів та економіки в цілому. Передбачає: прозоре судочинство, актуалізацію законодавства, підтримку конкуренції, антимонопольну діяльність, нівелювання викривлюючого впливу податків та субсидій на конкуренцію, забезпечення прав приватної власності, включаючи інтелектуальну, лібералізація ринку ресурсів, спрощення дозвільних процедур тощо.

3. Забезпечення економічної безпеки є основою сталого розвитку економіки, а також, розвитку інноваційного, оскільки економічна, екологічна і соціальна безпека є основою генерації і дифузії інновацій. Основними об'єктами та інструментами впливу при цьому є: енергетична безпека; продовольча безпека; монетарна політика; стабільність банківської системи; економічна незалежність; експортна політика; управління ключовими ресурсами; правова безпека і дотримання прав і свобод людини тощо.

4. Збільшення інвестиційного ресурсу. Інвестиційний ресурс виникає при зростанні долі додаткової вартості у новостворений і зростання його досягається з одного боку зростанням продуктивності праці, з іншого — зменшенням витрат. При цьому, в межах компетенції держави впливати на обсяг прямих і трансакційних витрат, зокрема: зменшенням податкового тиску, прямого — у вигляді пільг з ПДФО та ЄСВ, податку на прибуток, введення податкових канікул, звільнення від імпортних митних зборів на наукоємну продукцію та фактори виробництва; та непрямого, що збільшуватиме пропорційну частину доданої вартості у новостворений — зменшенням або відшкодуванням податку на додану вартість, оптимізацією ліцензійних зборів та державного мита.

5. Вплив на схильність до інвестування. Наявність інвестиційного ресурсу не означає автоматичного збільшення інвестиційного попиту та/або його спрямування у вітчизняну економіку, оскільки вивільнені інвестиційні ресурси приватного сектора можуть обернутися відпливом капіталу з несприятливого бізнес-середовища та макроекономічної нестабільності. Таким чином, наведені раніше пункти входять до нормативного блоку об'єктів та заходів щодо створення сприятливого бізнес-клімату. Додатковим блоком заходів має стати формування конкретної монетарної політики, яка сприятиме перетворенню інвестиційного ресурсу в інвестиційний попит.

6. Лібералізація і розвиток фінансового ринку є ключовою перетворенні інноваційного ресурсу на інноваційний попит. За результатами проведеного дослідження попередньо зроблено висновок про нерозвиненість як ринку фінансових інструментів в Україні, так і його суб'єктів. Зокрема, наголошено на ключовій ролі у інноваційно-інвестиційній діяльності розвинених економік пенсійних фондів. При цьому, лібералізація фінансів ПФ вирішує одночасно декілька проблем: проблему покриття дефіциту фонду, а відтак — проблему зменшення витрат державного бюджету, та проблему пошуку ресурсів для фінансування інноваційної діяльності. Пенсійні фонди є потужними інвестиційними гравцями на світовому фінансовому ринку і вітчизняна економіка втрачає порівняно значний інвестиційний ресурс через неадекватність пенсійної системи сучасному рівню розвитку.

7. Стимулювання інвестиційної діяльності через механізм державної підтримки партнерства бізнесу та науки. Проведене дослідження показало, що «бізнес і наука» в Україні живуть у «різних світах». Проблема низького інвестиційного попиту на продукований вітчизняною наукою інноваційний спалах лежить не лише в площині нестабільності макросередовища та низького інвестиційного ресурсу, — вона випливає, також, із відокремленості джерел інновацій від їх потенційних набувачів. Наука почасти продукує знання не спираючись на реальні потреби ринку, а ринок доволі часто не має уявлення про наявні розробки і технології. Саме тому, наріжним є забезпечення двостороннього зв'язку економічних агентів, дотичних до інноваційного процесу.

Проблема, на наш погляд, вирішується формуванням інноваційної екосистеми, що задовольнятиме умовам сукупного поступу основних інноваційних агентів (рис. 4).

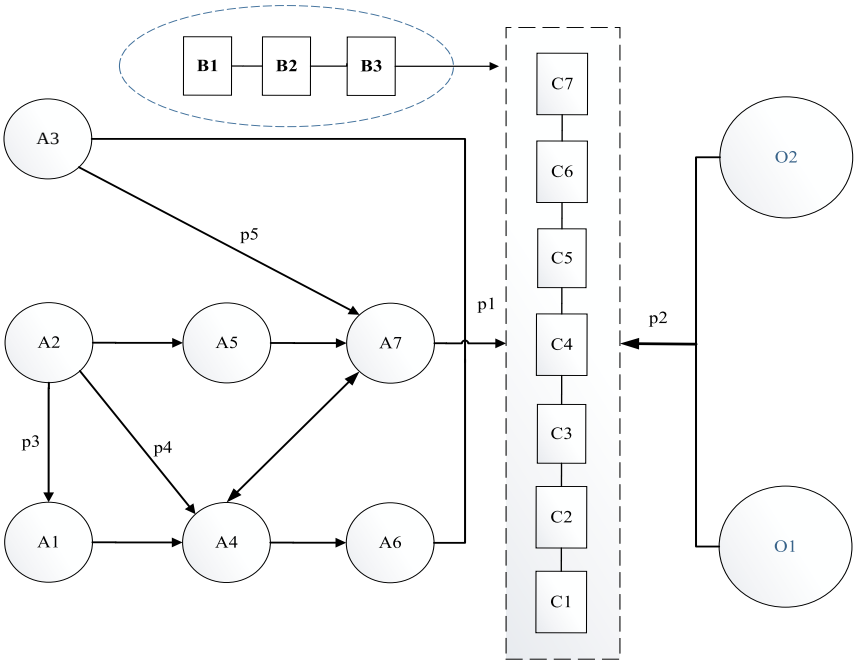


Рис. 4. Модель інноваційної екосистеми (*розроблено авторами*)

Примітка:

А1 — студенти (бакалаври, магістри) закладу вищої освіти; А2 — факультети та персонал ЗВО; А3 — регіональні підприємці (замовлення на дослідження); А4 — центр підприємництва А5 — офіс з передачі технологій; А6 — студентський коворкінг (бізнес-простір, програмування); А7 — офіс промислового партнерства; С1 — лабораторії ЗВО; С2 — центр технічної допомоги підприємствам; С3 — інкубатор малого бізнесу; С4 — консультаційний центр; С5 — програма, що пропонує бізнес-допомогу у всіх сферах економіки, включаючи розбудову бізнесу; С6 — онлайн-сервіс, пошук ресурсів робочої сили для підприємців, компаній та місцевих громад; С7 — екосистема соціального життя студентів; В1 — законодавчі органи, встановлюють нормативно-правову базу для будь-якої діяльності, пов'язаної з бізнесом; В2 — науково-дослідні інститути; В3 — розробники стандартів (науково-технологічні асоціації, ради, конгреси); О1 — органи державної влади; О2 — фонди венчурного капіталу

Визначено наступні процеси та потоки: р1 — програми обслуговування, р2 — можливості фінансування, р3 — навчальний процес; р4 — консультування, тренінги; р5 — замовлення від бізнесу на розробки

Розвиток інтелектуального капіталу університетів здійснюється на основі синергії вищої школи та бізнесу за підтримки і сприяння держави. Основою інноваційності для вишів є, найперше, їх власні потреби і мотиви для розвитку та інтелектуальної трансформації матеріально-технічної і наукової бази. Ці потреби підштовхують

їх до пошуку партнерів та інвесторів, опосередковуючи ефективну бізнес-модель університетів. Разом з тим, синергетичний розвиток науки і бізнесу не можливий без раціональної державної політики.

Одним із векторів розвитку синергії економічних агентів вважаємо технологію адитивного виробництва (АМ), яка на думку ряду дослідників [5-6], стане основою наступної промислової революції, розширивши можливості звичайних виробничих систем за рахунок використання інтелектуального капіталу (рис. 5). Акторів вдосконаленої моделі аддитивного виробництва нами згруповано у чотири категорії: клієнти, постачальники матеріалів та систем (B_1-B_4), гібридні актори (O_1-O_2, дизайн цифрових товарів, D_1-D_6), підтримка та оточуюче середовище (C_1-C_5). Елементи ланцюжка створення вартості для цифрового виробництва повинні охоплювати такі елементи, як програмне забезпечення, політика (права доступу, мережеві протоколи), онлайн-сервіси та онлайн магазини послуг 3D-дизайну.

Хоча АМ є, на перший погляд, лише технологією виробництва, її належить розглядати в контексті трансформації ланцюга створення вартості: екосистема охоплює діяльність, що поєднує як традиційний виробничий ланцюжок, так і цифровий. Виробничі ланцюги створення вартості часто включають діяльність, пов'язану з поставками, НДР, виробництвом, розподілом та використанням кінцевого продукту і при цьому, в результаті проходження всіх стадій виробництва на виході ми отримуємо певну кількість готового продукту, а її збільшення означає ітерацію виробничого процесу — новий виробничий цикл і відповідно, — додаткові виробничі витрати. Цифрові ж ланцюги вартості передбачають постійну редуплікацію один раз створеного контенту і умовно поділяються на два основних підтипи з точки зору основного об'єкта транзакцій: це, за визначенням, інформація або цифровий продукт.

Водночас, навіть вже не теоретичною в сучасних умовах господарювання є можливість прямого цифрового виробництва на базі АМ, тобто синтетичного поєднання відмінних за будовою і ресурсами виробничих процесів — крім сировини, потрібен лише файл цифрового дизайну продукту (CAD), який функціонує як універсальний інтерфейс.

Якщо більшість інновацій для виробничого ланцюжка доданої вартості була генерована великими компаніями, інновації в цифровому ланцюжку створення вартості стали результатом зростаючого інтелектального капіталу спільнот «виробників-любителів», приватних споживачів та малих підприємств, зацікавлених у використанні АМ для локального виробництва предметів для власного

використання. Ця спільнота активно розробляла 3D-моделі, створюючи інфраструктуру для цифрового обміну ними в Інтернет-сховищах (наприклад, Thingiverse або Google 3D Warehouse), продаючи 3D-друковану продукцію на ринках і навіть розробляючи власні 3D-принтери для домашнього використання.

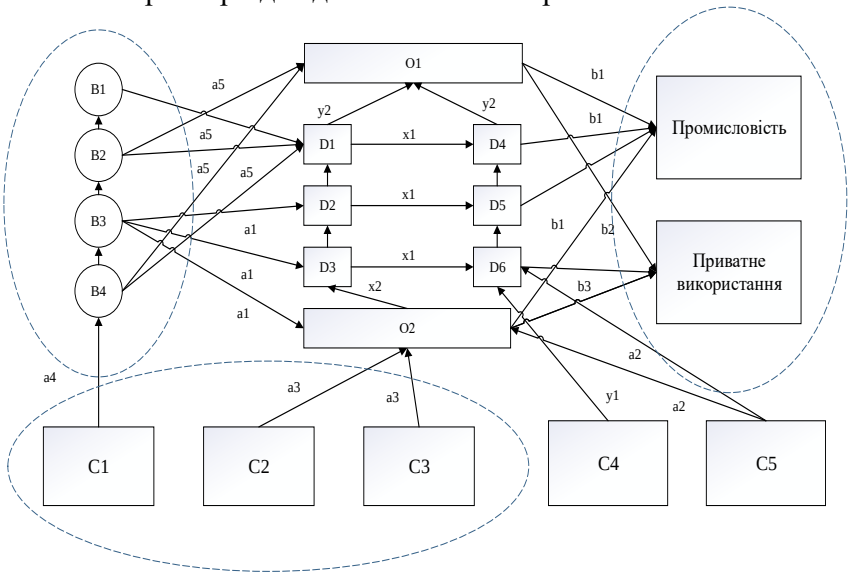


Рис. 5. Модифікована модель бізнес-екосистеми адитивного виробництва (*розроблено авторами*)

Примітка: B_1 — виробники обладнання; B_2 — хімічні компанії; B_3 — системні інженери; B_4 — постачальники матеріалів; O_1 — виробники комплектного обладнання, тобто збірного, що комплектується з окремих готових частин, вироблених іншими підприємствами виробники обладнання; O_2 — виробники та онлайн-продавці дизайну продуктів; D_1 — дизайнери продуктів; D_2 — сканувальні сервіси; D_3 — онлайн-платформи обміну дизайном, соціальні мережі; D_4 — контрактні виробники, що спеціалізуються на одному базовому компоненті (наприклад, мікросхемах пам'яті) або базовому процесі (наприклад, лиття пластмас); D_5 — розробники цифрових продуктів; D_6 — постачальники послуг спільного використання пристроїв 3D-друку. C_1 — законодавчі органи, встановлюють нормативно-правову базу для будь-якої діяльності, пов'язаної з бізнесом; C_2 — заклади освіти та науки (розробка стандартів, наукові дослідження, освітні компетенції); C_3 — інтелектуальний капітал, інновації (інноватори, розробники); C_4 – виробники програмного забезпечення (3D-моделювання, захист інформації); C_5 — компанії інтернет-провайдери. Визначено наступні процеси та потоки: a_1 — навчання персоналу, a_2 — підтримка клієнтів, a_3 — надання консультацій, a_4 – стандарти та нормативи, a_5 – забезпечення матеріалами, x_1 — надання цифрових пакетів, x_2 – інтеграція сервісів, y_1 — надання середовищ розробки та виконання додатків, y_2 — забезпечення елементами для зборки, b_1 — постачання товарів, b_2 — виконання індивідуальних замовлень, $b3$ — продаж індивідуальних цифрових пакетів для домашніх 3D-принтерів.

АМ може змінити цей процес і промислові інновації тех-гігантів будуть доповнюватися інноваційним виробництвом користувачів — їх здатністю користувача перетворити свій інтелектуальний продукт (дизайн, модель, промисловий зразок) на фізичний продукт. Усуваючи витрати на обладнная (прес-форми, різаки, станки), АМ дозволяє здійснювати виготовлення невеликих за обсягом складних конструкцій із незначним показником витрат або без них. Екосистема, до того ж, дозволяє виготовляти багатофункціональні елементи за допомогою одного процесу, включаючи також вторинні матеріали (наприклад, електричні схеми), зменшуючи потребу в подальшому монтажу для ряду продуктів.Крім того, може додатково бути елімінована потреба у додаткових поверхневих покриттях для продуктів виробництва.

Усі перераховані характеристики визначають адитивне виробництво одним із ключових напрямків синергетичного розвитку економічних агентів — носіїв і втілювачів інтелектуального капіталу в умовах нової економічної системи, забезпечуючи органічне поєднання виробничих і цифрових ланцюгів створення вартості.

Висновки. Розвиток інтелектуального капіталу здійснюється на основі синергії вищої школи та бізнесу за підтримки і сприяння держави. Основою інноваційності для вишів є, найперше, їх власні потреби і мотиви для розвитку та інтелектуальної трансформації матеріально-технічної і наукової бази. Ці потреби підштовхують їх до пошуку партнерів та інвесторів, опосередковуючи ефективну бізнес-модель університетів. Разом з тим, синергетичний розвиток науки і бізнесу не можливий без раціональної державної політики. Проблема, на наш погляд, вирішується формуванням інноваційної екосистеми, що задовольнятиме умовам сукупного поступу основних інноваційних агентів.

Одним із векторів розвитку синергії економічних агентів вважаємо технологію адитивного виробництва (АМ), яка на думку ряду дослідників, стане основою наступної промислової революції, розширивши можливості звичайних виробничих систем за рахунок використання інтелектуального капіталу. Хоча АМ є, на перший погляд, лише технологією виробництва, її належить розглядати в контексті трансформації ланцюга створення вартості: екосистема охоплює діяльність, що поєднує як традиційний виробничий ланцюжок, так і цифровий. Водночас, навіть вже не теоретичною в сучасних умовах господарювання є можливість прямого цифрового виробництва на базі АМ, тобто синтетичного поєднання відмінних за будовою і ресурсами виробничих процесів.

Проблема пошуку варіацій екосистем і моделей синергетичного розвитку економічних агентів відкриває широке поле для подальших досліджень, а також, ставить питання формулювання практичних рекомендацій в даній площині.

Бібліографічні посилання

1. Sen, A. (1987). Food and freedom. *A world to make: Development in perspective*, 769–781.

2. Heritage.org. (2021). Economic Freedom Score. Ukraine. World. URL: https://www.heritage.org/index/pdf/2021/countries/2021_IndexofEconomicFreedom-Ukraine.pdf (дата звернення: 20.07.2021).

3. Єрешко Ю. О. П'ятивузлова синергія як оптимальна інноваційна модель. *Економічний аналіз*. 2021. Том. 31. №2. URL: https://www.econa.org.ua/index.php/econa/article/view/1925 (дата звернення: 20.07.2021).

4. Єрешко, Ю. О., Лободзинська, Т. П. Особливості венчурного інвестування в Україні як причина гальмування інноваційно-інвестиційного розвитку. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2014. № 11. 162 с.

5. Rayna, T., & Striukova, L. (2014). The Impact of 3D Printing Technologies on Business Model Innovation. In P. Benghozi, D. Krob, A. Lonjon, & H. Panetto (Eds.), Digital Enterprise Design & Management (Vol. 261, pp. 119–132). Cham: Springer International Publishing.

6. Walters, D. (2012). Competition, Collaboration, and Creating Value in the Value Chain. In H. Jodlbauer, J. Olhager, & R. J. Schonberger (Eds.), Modelling Value (pp. 3–36). Heidelberg: Physica-Verlag.

Статтю подано до редакції 19.11.2021

УДК 330.341.1:004.75]:330.46]] (043.3) DOI 10.33111/mise.101.8

Камінський О.Є., д. е. н., доцент,
доцент кафедри кафедри комп'ютерної математики
та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені В. Гетьмана»
Дем'яненко В.В., к. е. н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені В. Гетьмана»
Дем'яненко О.О., к.ф.-м.н., доцент,
доцент кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей,
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Kaminsky O.Y., Doctor of Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Computer Mathematics
and Information Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman

© О. Є. Камінський, В. В. Дем'яненко,
О. О. Дем'яненко, 2021

Demianenko V.V., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Computer
Mathematics and Information Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Demianenko O.O., PhD (physical and mathematical sciences),
Associated professor of Mathematical analysis
and Probability Theory Department,
NTUU "Igor Sicorsky Kyiv Polytechnic Institute"

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПОБУДОВИ ТА РОЗГОРТАННЯ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ

MODELING PROCESSES OF BUILDING AND DEPLOYING CLOUD SERVICES

Анотація. *У статті розглянуто основні економічні засади побудови хмарних сервісів на базі моделі SaaS. Саме цей вид хмарних сервісів на теперішній час найбільш динамічно розвивається в Україні. Автори визначають основні проблеми побудови сучасних хмарних сервісів і варіанти їх розв'язання. Процеси створення і використання хмарних сервісів мають свою економічну складову, вони характеризуються витратами праці і коштів та отриманням прямого або непрямого прибутку та потребують застосування апарату економіко-математичного моделювання. Метою статті є розроблення економіко-математичної моделі, яка дозволяє створити хмарний сервіс з мінімальними витратами в рамках існуючих обмежень. Вивчення хмарних сервісів та парадигми хмарних обчислень як економічних явищ важливе не тільки тому, що вони є важливим ресурсом підвищення ефективності роботи окремих підприємств і компаній, а так само тому що їх виникнення стало важливим індикатором інформаційного суспільства, що дає змогу судити про фундаментальні тенденції його розвитку. Для вирішення завдання вибору структурних елементів можна ефективно використовувати методи аналізу складних систем за критерієм функціональної придатності. При формуванні структури хмарного сервісу запропонований підхід дадуть можливість: провести вибір програмного забезпечення для реалізації хмарного сервісу, сформувати склад компонентів і функцій такого сервісу, та вибрати підмножину варіантів реалізації хмарного сервісу, як найбільше буде відповідати вимогам власника сервісу. Використання апарату економіко-математичних моделей для вирішення окреслених проблем допоможе розробникам хмарних сервісів приймати економічно обґрунтовані рішення щодо їх розробки і експлуатації.*
Ключові слова: *Індустрія 4.0; системний аналіз, хмарні обчислення; модель; інформаційні технології; хмарні сервіси.*

Abstract. *The article considers the basic economic principles of building cloud services based on the SaaS model. This type of cloud services is currently the most dynamically developing in Ukraine. The authors identify the main problems of building modern cloud services and options for their solution. The processes of creation and use of cloud services have their economic component, they are characterized by labor costs and funds and direct or indirect profits and require the use of economic and mathematical modeling. The aim of the article is to develop an economic-mathematical model that allows you to create a cloud service with minimal costs within the existing constraints. The study of cloud services and the paradigm of cloud computing as economic phenomena is important not only because they are an important resource for improving the*

efficiency of individual enterprises and companies, but also because their emergence has become an important indicator of the information society. . To solve the problem of choosing structural elements, you can effectively use the methods of analysis of complex systems by the criterion of functional suitability. When forming the structure of the cloud service, the proposed approach will allow: to select software for cloud service implementation, to form the components and functions of such service, and to select a subset of cloud service implementation options that best meet the requirements of the service owner. The use of economic and mathematical models to solve the outlined problems will help cloud service developers to make economically sound decisions on their development and operation.
Keywords: *Industry 4.0; system analysis, cloud computing; model; information technology; cloud services.*

Вступ. За останні кілька років на світовому рівні увага до технологій хмарних обчислень зросла як у науковому середовищі так і в сфері IT-бізнесу. За прогнозами провідних консалтингових компаній світу, швидке вдосконалення та поширення хмарних технологій (cloud computing) є одним з ключових трендів, що в найближчі 5–8 років помітно вплинуть на глобальний розвиток не лише IT-індустрії, але і на сфери бізнесу, фінансів, державного управління, медицини, освіти та на багато інших сфер людського життя. [1].

Крім того, експерти стверджують, що 60 % робочих навантажень в 2019 році працює на базі хмарних сервісів, тоді як в 2018 році в хмарах було розміщено 45 % робочих навантажень. США є найбільш значущим ринком загальнодоступних хмарних сервісів за прогнозованими показниками у розмірі 124,6 млрд доларів у 2019 році [2]. На діаграмі (рис. 1.) відображено, які розвинені країни більше всього затратили на розвиток хмарних технологій в 2019 році.

Постановка проблеми. На думку співробітників корпорації IBM, хмарні сервіси — це додатки для автоматизації бізнесу, поширювані за моделлю SaaS (ПЗ як послуга), або за іншими моделями, через публічні «хмари» і доступні широкому колу замовників за прийнятною ціною [2].

Хмарні сервіси, що складаються з великої кількості залежних елементів, представляють важливий клас програмних додатків, які розгортаються та виконуються в традиційних хмарних інфраструктурах, у тому числі в хмарах за моделлю Infrastructure as a Service (IaaS). Останнім часом з'явився новий тип безсерверних інфраструктур, представлений такими сервісами, як Google Cloud Functions (GCF) або AWS Lambda. Цю модель часто називають Functionas-a-Service (FaaS), і вона є альтернативою моделі IaaS. Дана модель дозволяє розгортати програмне забезпечення у вигляді множини функцій, які виконуються в інфраструктурі провайдера у відповідь на конкретні події, такі як завантаження нових

файлів у хмарне сховище даних або HTTP-запити користувача. Цей підхід звільняє користувача від необхідності використовувати сервера, включаючи керування віртуальними машинами, в той час як управління ресурсами забезпечується хмарою в автоматизований і масштабований спосіб. Таким чином, процеси створення і використання сучасних хмарних сервісів мають свою економічну складову, вони характеризуються витратами праці і коштів з одного боку, і отриманням прямого або непрямого прибутку — з іншого. Багатоваріантність процесу створення хмарного сервісу в рамках існуючих обмежень визначає необхідність застосування апарату економіко-математичного моделювання.

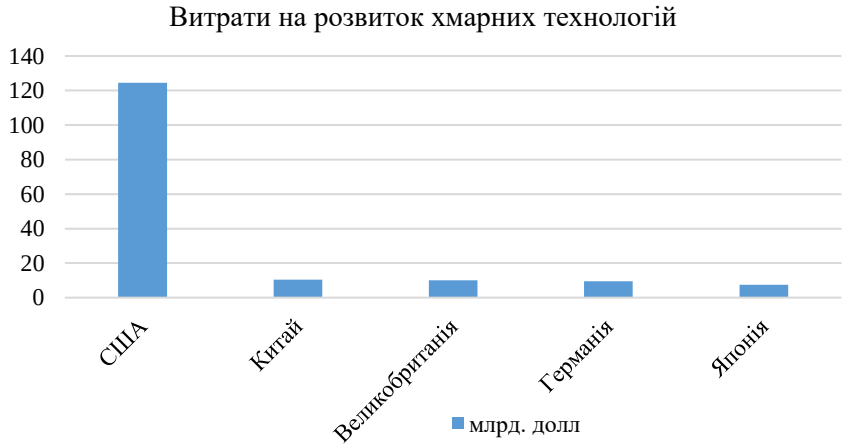


Рис. 1. Витрати на розвиток хмарних технологій в 2019 році

Джерело: дані [2]

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теоретичні й практичні аспекти хмарних технологій піднімаються у працях багатьох зарубіжних та вітчизняних авторів, наприклад, в роботі Becker B. та Darmois E. [3] хмарні сервіси визначено, як додатки для автоматизації бізнесу, поширювані за моделлю SaaS (ПЗ як послуга), або за іншими моделями, через публічні «хмари» і доступні широкому колу замовників за прийнятною ціною.

Першою працею, у якій систематично досліджено базові моделі розробки хмарних сервісів стала праця К. Танга та Дж. М. Жанга [4], які представили новий підхід до розробки хмарних додатків. Дослідники запропонували архітектуру життєвого циклу розробки

хмарних додатків, в якій розробник сервісу зосереджує свою увагу на розробці самого сервісу, а не на архітектурі хмарного середовища. Наведений в даній роботі підхід має узагальнену структуру для різних хмарних платформ, які надають підтримку та платформи для розробки додатків. Також, запропонована авторами методика орієнтована лише на автоматизовані інструменти розробки, та має обмежену сферу використання. Запропонована в роботі модель є суто теоретичною, математичні моделі авторами не розроблялися.

Классифікацію різних платформ для розробки програми в хмарному середовищі в розрізі нефункціональних атрибутів вперше було проведено в праці вчених Б. Содхі та Т. Прабхакара [5]. По-перше, дослідники класифікували хмарні платформи на трьох рівнях: традиційні (не хмарні), віртуалізовані та хмарні. Було застосовано системний підхід до аналізу платформ всіх трьох рівнів.

В роботі зарубіжних вчених Мерлино Дж., Аркоулиса С. [6] та ін. стверджується, що передача основних служб та програмних додатків до хмар створила нові вимоги до розробки продуктивного програмного забезпечення. Хмарні концепції та технології забезпечують розвиток середовищ розробки програмного забезпечення "у хмарі для хмари", оскільки вони можуть легко забезпечити достатню кількість обчислювальних ресурсів для розробки та тестування коду, підтримку систем спільної роботи розробників, що є ключовим для розробки програмних додатків [7]

Ряд технологічних та економічних аспектів, що стосуються побудови хмарних сервісів недостатньо відпрацьовані у науковому і практичному аспектах і потребують подальших досліджень.

Мета статті. Сучасні хмарні сервіси є складними динамічними інформаційними системами, які включають велику кількість різних компонентів. Метою статті є розроблення економіко-математичної моделі, яка дозволяє створити хмарний сервіс з мінімальними витратами в рамках існуючих обмежень.

Основний матеріал дослідження. Хмарний сервіс згідно європейського стандарту ISO / IEC 17788 до: 2014 [8] можна визначити як одну або кілька функцій, які пропонуються користувачам за допомогою хмарних технологій і викликаються з використанням єдиного інтерфейсу [9].

Для розробки й розгортанні хмарних сервісів необхідним є прийняття значної кількості технічних і управлінських рішень. Значна кількість наявних технологій дозволяє розробляти хмарні сервіси різного масштабу і функціональності. Завдання ускладнюється тим, що кількісний і якісний розвиток хмарної парадигми

привів до потреби розглядати її як складну інформаційну систему, котра може охоплювати тисячі користувачів і містити сотні тисяч розподілених елементів, котра підтримує динамічне масштабування, котра використовує різні комунікаційні та обчислювальні сервіси та постійно взаємодіє з іншими інформаційними системами, що передбачає звернення до методів системного аналізу та економіко-математичного моделювання [10].

Згідно нового звіту [11] з безпеки хмарних сервісів від компанії Crowd Research Partners, підготовленого спільно з провідними постачальниками хмарної безпеки AlienVault, Bitglass, CloudPassage, Cloudvisory, Dome9 Security, Eastwind Networks, Evident .io, (ISC) 2, Quest, Skyhigh і Tenable, ми можемо визначити (рис.2., a), що основними загрозами для безпеки хмарних сервісів є неправильна конфігурація хмарних платформ та контроль доступу, а проблемами при створенні (рис.2., b) — недостатня безпека хмарної інфраструктури та неповне дотримання вимог при розробці хмарних сервісів.

Рис. 2. Основні загрози для безпеки хмарних сервісів

Джерело: розроблено авторами на основі даних [11]

Оскільки ці сервіси призначені для підприємств і організацій, то:

– вони повинні брати участь у бізнес-процесах підприємств;

– для невеликих компаній сервіси повинні бути доступні за ціною;

– вони повинні бути доступні масово;
– для їх використання не повинні бути потрібні специфічні знання (наприклад, в сфері інформаційних технологій);
– вони повинні забезпечувати високий рівень захисту даних;
– вони повинні відповідати вимогам замовників при розробці.

Можливість приймати рішення і знаходити компроміси щодо структурних елементів сервісу та набору технологій і згодом переглядати ці рішення — важлива перевага хмарної архітектури.

Хмарний сервіс характеризується набором структурних елементів і їх інтерфейсів, за допомогою яких компонується сервіс, разом з їх поведінкою, обумовленим у взаємодії між цими елементами.

Структура хмарного сервісу концептуально являє собою орієнтовний ациклічний граф вузлів, що являє як типи, так і обмеження, який наведено на рис. 3.

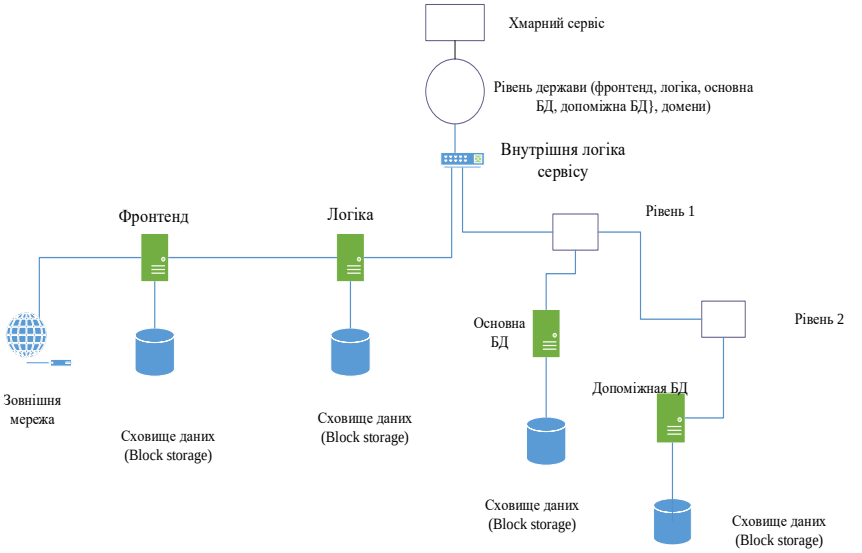


Рис. 3. Структура хмарного сервісу

Джерело: розроблено авторами

Структурним елементом хмарного сервісу ми визначаємо частину хмарного сервісу, яка має певне функціональне значення. Хмарний сервіс може складатися з декількох структурних елементів, кожен з яких має певний тип (наприклад, фронтенд і бекенд

елементи). До них відносяться сервери баз даних, фреймворки, інтерфейси в типовому трирівневому веб-додатку, бібліотеки, віртуальні машини і апаратні засоби. Тип хмарного сервісу не повністю відповідає конфігураціям, які використовуються в Amazon EC2, і шаблонам серверів, які використовує RightScale. Кожен екземпляр типу спільно використовує образ базової віртуальної машини (ВМ) конкретного типу, яка містить стан запуску (операційна система і додатки) і конфігурацію. Загальний обсяг сервісу може бути скоректований шляхом зміни кількості екземплярів кожного типу структурних елементів.

Комплекс структурних елементів визначає вибрану сукупність обладнання і складових (інфраструктуру) для реалізації хмарного сервісу. Вибір визначається, з одного боку, моделлю і проектом хмарного сервісу, а з другого — технічними та економічними вимогами. Кожен набір технологій вимагає різних затрат праці на освоєння і на розробку з його допомогою компонентів сервісу [9]. Використання тих чи інших технологій передбачає різні витрати на користування хмарою. Ефективність досягнення поставлених цілей за допомогою різних хмарних технологій і засобів розгортання сервісів також різна.

Тобто, хмарний сервіс можна подати як кортеж вигляду:

$$\mathrm{CA} = \langle SM, H, K, R \rangle, \quad (1)$$

де SM — модель хмарного сервісу, яка визначає в загальному вигляді цілі його створення та місце в системі бізнес-процесів підприємства;

H — проект сервісу, що описує його структуру та складові;

K — комплекс структурних елементів трьох рівнів хмари (віртуальні машини, платформи, СУБД, фреймоворки, платіжні системи), які використовуються для створення хмарного сервісу;

R — варіант реалізації сервісу;

Компоненти набору загалом відповідають стадіям процесу побудови хмарного сервісу, аналогічно етапам побудови програмного додатку. Кожен з цих компонентів характеризує завершення однієї зі стадій проектування, подаючи її результат.

Варіант реалізації хмарного сервісу відображається кортежем:

$$\mathrm{R} = \langle \mathrm{DB}, \mathrm{SW}, \mathrm{LS} \rangle, \quad (2)$$

де: DB — база даних, що містить сукупність таблиць, збережених процедур та ін.;

$SW = SF \cup SB$ — множина структурних елементів хмарного сервісу, яка вміщує:

$SF = \{sf_i\}, i = \overline{1, N}$ — множину фронтенд-елементів сервісу (фреймворки, модулі JS, бібліотеки та ін.) ; де N — кількість фронтенд-елементів.

$SB = \{sb_j\}, j = \overline{1, L}$ — множину серверних (бекенд) елементів сервісу; де L — кількість бекенд-елементів.

$LS = \{ls_k\}, k = \overline{1, \mathrm{M}}$ — множина інших хмарних сервісів, з якими інтегрований хмарний сервіс, де M — кількість інтегрованих сервісів. Такі системи надають вміст для компонентів контенту сервісу, а також збирають через сервіс інформацію для маркетингових або статистичних досліджень. Інтеграція також дозволяє реалізувати виконання бізнес-процесів у рамках IT-інфраструктури підприємства.

Хмарні сервіси здебільшого є настільки складними системами, що співвідношення середньорічних витрат на розгортання та експлуатацію сервіса до коштів, витрачених на розробку самого сервісу, може коливатися в межах кількох порядків.

Авторами пропонується економіко-математична модель, яка дозволить мінімізувати сукупну вартість володіння хмарним сервісом при розробці оптимальної конфігурації його складових, а також дозволить в межах виділеного бюджету досягти певних характеристик якості і безпеки сервісу (QoS) і мінімізує витрати на його розгортання в хмарі і подальший супровід.

Обраний варіант реалізації має відповідати функціональним та безпековим вимогам до сервісу (заданим замовником сервісу). Будь який з варіантів може забезпечити досягнення всіх цілей моделі сервісу, при цьому вони порівнюються між собою за критеріями QoS. Для вирішення завдання вибору структурних елементів можна ефективно використовувати методи аналізу складних систем за критерієм функціональної придатності.

Методи аналізу складних систем дають змогу заздалегідь відсіяти невідповідні до функціональних вимог варіанти, порівнявши функціональну придатність розглянутих компонентів і вибрати технології, які мають найбільшу відповідність вимогами замовника сервісу. Для кожного з варіантів реалізації хмарного сервісу існує конфігурація з k взаємозв'язаних структурних елементів сервісу (ресурсів, наданих хмарним провайдером), де $k = \overline{1, K}$.

Для визначення оптимального бюджету проекту розробки хмарного сервісу, на першому етапі ми формуємо набір варіантів реалізації хмарного сервісу, які задовільняють вимогам:

$$V = \sum_{r=1}^{R_k} \sum_{k=1}^{K} v_{kr}\, y_{kr} \to min \tag{3}$$

$$\sum_{r=1}^{R_k} \sum_{k=1}^{K} b_{kr}\, y_{kr} \le B; \tag{4}$$

$$\sum_{r=1}^{R_k} y_{kr} = 1, \;\; k \in \overline{(1,K)}; \tag{5}$$

$$y_{kr} \ge 0, k = \overline{1,K}, r = \overline{1,R_k}; \tag{6}$$

$$y_{kr} \le 1, k = \overline{1,K}, r = \overline{1,R_k}; \tag{7}$$

$$y_{kr} - \text{ціле}, k = \overline{1,K}, r = \overline{1,R_k}; \tag{8}$$

$$\sum_{r=1}^{R_k} \sum_{k=1}^{K} \overline{q_{kr}}\, y_{kr} N + \sum_{r=1}^{R_k} \sum_{k=1}^{K} \overline{t_{kr}}\, y_{kr} N \le T; \tag{9}$$

$$\overline{s_{kr}}\, y_{kr} \ge S_k, \;\; k = \overline{1,K}, \tag{10}$$

де:

y_{kr} — змінна, яка визначає r-й варіант реалізації k-того структурного елемента хмарного сервісу,

v_{kr} — витрати на розгортання та обслуговування r-го варіанту реалізації k-того структурного елемента хмарного сервісу,

b_{kr} — витрати на розробку сервісу, архітектура якого відповідає r-му варіанту реалізації k-того структурного елементу хмарного сервісу,

$\overline{q_{kr}}$ — час затримки реакції на r-му варіанті реалізації k-того структурного елемента при відповіді на один запит кінцевого користувача,

$\sum_{r=1}^{R} \sum_{k=1}^{K} \overline{q_{kr}}\, y_{kr} N$ — час затримки реакції на запити N перед обробкою сервісом з k-тою конфігурацією структурних елементів,

$\overline{t_{kr}}$ — час обробки запитів при *r*-ому варіанті реалізації *k*-того структурного елемента сервісу,

$\overline{s_{kr}}$ — експертна оцінка існуючого рівня безпеки даних для *r*-ого варіанту реалізації *k*-того структурного елементу хмарного сервісу,

S_k — заданий користувачем рівень безпеки даних для *k*-того структурного елементу хмарного сервісу,

B — бюджет фінансування проекту розробки хмарного сервісу,

R_k — множина варіантів реалізації конфігурації *k*-го структурного елементу хмарного сервісу,

K — множина структурних елементів, що надаються хмарним провайдером (віртуальні машини, сервери, СУБД, фреймворки, бібліотеки, API інтерфейси, інші хмарні сервіси, веб-сервіси тощо),

T — заданий час роботи для хмарного сервісу, параметр QoS (мс),

N — загальна кількість запитів кінцевих користувачів сервісу.

Цільова функція даної моделі (3) визначає, що витрати на розгортання та обслуговування варіанту реалізації хмарного сервісу, який ми розглядаємо, повинні бути мінімальними.

Обмеження (4) визначає необхідність задоволення вимогам до обсягу бюджету проекта хмарного сервіса. Обмеження (5) показує, що може існувати тільки один варіант реалізації k-ого структурного елементу сервісу. Обмеження (6), (7) та (8) визначають умови цілочисельності та невід'ємності змінних. Обмеження (9) встановлює необхідність технічного забезпечення виконання певного обсягу запитів кінцевих користувачів до хмарного сервісу за обмежений проміжок часу його роботи (базовий параметр оцінювання якості послуг комунікаційних мереж). Сутність обмеження (10) полягає в оцінюванні рівня захисту даних для структурних елементів хмарного сервісу (базовий параметр оцінювання якості послуг комунікаційних мереж).

Таким чином ми отримаємо оптимальний набір структурних елементів хмарного сервісу. Слід відзначити, що по даній моделі розрахунок проводиться для кожного варіанта побудови хмарного сервісу.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Використання апарату економіко-математичних моделей для вирішення окреслених проблем допоможе розробникам хмарних сервісів приймати економічно обґрунтовані рішення щодо їх розробки і експлуатації. Вивчення хмарних сервісів та парадигми хмарних обчислень як економічних явищ важливе не тільки тому, що вони є важливим ресурсом підвищення ефективності роботи окремих підприємств і компаній, а

так само тому що їх виникнення стало важливим індикатором інформаційного суспільства, що дає змогу судити про фундаментальні тенденції його розвитку. При формуванні структури хмарного сервісу запропонований підхід дадуть можливість: провести вибір програмного забезпечення для реалізації хмарного сервісу, сформувати склад компонентів і функцій такого сервісу, та вибрати підмножину варіантів реалізації хмарного сервісу, як найбільше буде відповідати вимогам власника сервісу.

Запропонована економіко-математична модель може бути використана в різних областях економіки та управління для побудови та експлуатації хмарних сервісів.

Бібліографічні посилання

1. Symantec: Protecting a Cloudier Future. Market Report. November 2012. (2012) http://www.symantec.com/content/en /us/enterprise/white_papers/esg-protecting-a-cloudier-future.en-us.pdf;

2. «25 Must-Know Cloud Computing Statistics in 2020» (2020) https://hostingtribunal.com /blog/cloud-computing-statistics/#gref

3. Becker B. and Darmois E. Survey of the Cloud Computing Standards Landscape 2015 4. *CLOSER 2016: Proceedings of the 6th International Conference on Cloud Computing and Services Science* — Vol . 1 (2016) P. 230–238 https://doi.org/10.5220/0005824602300238

5. Tang K. at al. Application Centric Lifecycle Framework in Cloud. *International Conference on e-Business Engineering*, vol. 0, 2011. P. 329-334.

6. Sodhi B., Prabhakar T.V Assessing Suitability of Cloud Oriented Platforms for Application Development. *Ninth Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture*, 2011. P. 328-335.

7. Merlino G., Arkoulis S. et al. «Mobile crowdsensing as a service: A platform for applications on top of sensing» *Clouds Future Gener. Comput. Syst.*, 0167-739X, 56 (2016), P. 623-639

8. Риз Дж. Облачные вычисления. пер с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 288 с.

International Standard: «Information technology — Cloud computing — Overview and vocabulary» https://www.iso.org/standard/60544.html

9. Дем`яненко В. В. Моделювання інжинірингу IT-систем з елементами віртуалізації компонентів. *Академічний огляд*. 2008. № 2. С. 69-73.

10. Камінський О. Є. Структурна модель побудови хмарного сервісу. *Моделювання та інформаційні системи в економіці: зб. наук. пр.* Київ: КНЕУ, 2017. — № 93. С. 132–142.

11. Cloud Security Report (2018) https://crowdresearchpartners.com/portfolio/cloud-security-report/

Статтю подано до редакції 04.11.2021

УДК 332.62(477.7):339.9 DOI 10.33111/mise.101.9

Катуніна О.С., к.е.н., доцент,
доцент кафедри математичного моделювання та статистики,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Кваша Н.С., магістрант
за освітньо-професійною програмою «Економічна кібернетика
і Дата Сайнс» кафедри математичного моделювання та статистики,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Katunina O.S., PhD in Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Mathematical Modeling and Statistics,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Kvasha N.S.,
master's student for the educational and professional program
"Economic Cybernetics and Data Science" of the Department
of Mathematical Modeling and Statistics,
SHEI KNEU named after V. Hetman

ПРОГНОЗНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯ ІНФЛЯЦІЇ В УКРАЇНІ НА БАЗІ ІНСТРУМЕНТІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

FORECAST MODELING OF THE INFLATION LEVEL IN UKRAINE ON THE BASIS OF MACHINE LEARNING TOOLS

Анотація. *Стаття присвячена актуальним питанням моделювання інфляційних процесів в Україні. Розглянуто методологічні положення та інструментарій прогнозного моделювання динаміки інфляційних процесів, проаналізовано динаміку індексу інфляції в Україні. Систематизовано наукові підходи до моделювання інфляційних процесів; обгрунтовано використання моделей аналізу динаміки індексу інфляції та сукупності факторів; розроблено структуру системи моделей для прогнозування інфляції; запропоновано використання методів науки про дані та машинного навчання для дослідження впливу макроекономічних факторів на інфляційні процеси в Україні; застосовано методи вирівнювання, згладжування, багатофакторне моделювання. Обгрунтовано використання лагових зміщень в динамічних рядах факторних змінних, що зумовлюють розвиток інфляційних процесів. Для індексу інфляції побудовано систему ARIMA — моделей, що ідентифікують стійкі авторегресійні механізми у структурі динамічного ряду, за критеріями ефективності апроксимації визначено кращу прогностичну модель. На базі методів машинного навчання побудовано систему багатофакторних лінійних прогностичних моделей із регуляризацією. Розглянуті моделі реалізовано на реальних макроекономічних даних України, що дало можливість одержати систему альтернативних математичних моделей динаміки інфляційних процесів при різних припущеннях щодо врахування загальної тенденції, циклічної та випадкової складової, наявності часових лагів та структурних зрушень, механізмів впливу на індекс інфляції низки предикторів. Запропонована сис-*

© О. С. Катуніна,
Н. С. Кваша, 2021

тема моделей є цілісним комплексом сучасних інструментів дослідження та прогнозування інфляційних процесів з метою виявлення тенденцій та закономірностей і прогнозування, а тому є затребуваною та може використовуватись на рівні державного управління, підприємствами та установами, учасниками відповідних ринків, що здійснюють економічну діяльність та проводять дослідження ринків. Розглянуті в роботі моделі є складовою макроекономічної аналітики та можуть бути ефективно впроваджені в практику дослідницької, управлінської та консалтингової діяльності.
Ключові слова: *інфляція, індекс інфляції, інфляційні процеси, економічні системи, часові ряди, машинне навчання, моделювання, прогнозування.*

Abstract. *The article is devoted to topical issues of modeling inflation processes in Ukraine. The methodological provisions and tools of forecast modeling of the dynamics of inflation processes are considered, the dynamics of the inflation index in Ukraine is analyzed. Scientific approaches to modeling of inflationary processes are systematized; the use of models for analyzing the dynamics of the inflation index and a set of factors is substantiated; the structure of the system of models for forecasting inflation is developed; the use of data science methods and machine learning to study the impact of macroeconomic factors on inflation in Ukraine is proposed; methods of alignment, smoothing, multifactor modeling are applied. The use of lag shifts in the time series of factor variables that determine the development of inflationary processes is substantiated. A system of ARIMA models has been built for the inflation index — models that identify stable autoregressive mechanisms in the structure of the time series, the best prognostic model has been determined according to the criteria of approximation efficiency. A system of multifactor linear prognostic models with regularization is built on the basis of machine learning methods. The considered models are implemented on real macroeconomic data of Ukraine, which made it possible to obtain a system of alternative mathematical models of inflation dynamics with different assumptions to take into account the general trend, cyclical and random component, time lags and structural changes, mechanisms of influencing the inflation index of a number of predictors. The proposed system of models is a holistic set of modern tools for research and forecasting of inflation to identify trends and patterns and forecasting, and therefore is in demand and can be used at the level of government, enterprises and institutions, participants in relevant markets, economic activities and market research. The models considered in the work are a component of macroeconomic analysis and can be effectively implemented in the practice of research, management and consulting.*
Keywords: *inflation, inflation index, inflation processes, economic systems, time series, machine learning, modeling, forecasting*

Вступ. Інфляція є однією з глобальних економічних проблем у сучасному світі та одним із найтяжчих проявів макроекономічної нестабільності. Процеси прискорення або уповільнення інфляції зумовлюють економічний розвиток держави, пріоритети та механізми економіки. Рівень інфляції є предиктором структурних зрушень на фінансових та споживчих ринках. Інфляція безпосередньо впливає на розвиток соціальної сфери (індексація пенсій та соціальної допомоги, зростання заробітної плати тощо), та економічної політики (складання економічних програм на мікро- та макрорівнях; визначення відсоткових ставок, у тому числі облікової ставки Національного банку України; взаємовідносини з міжнародними

фінансовими організаціями, які надають великого значення рівню інфляції та виконанню зобов'язань щодо його зниження). Тому контроль рівня інфляції та її підтримання на прийнятному рівні є ключовою проблемою економічної політики держави.

В даний час все більшої актуальності набувають питання комплексного дослідження інфляційних процесів в економіці України, зокрема, на базі активного впровадження в практику макроекономічних досліджень новітніх інноваційних модельних технологій з елементами штучного інтелекту, що використовують принцип навчання і є реальним інструментом розв'язання складних задач моделювання та прогнозування розвитку процесів в економічних системах. Роботу присвячено розробленню структури системи моделей та застосуванню новітніх модельних технологій визначення тенденцій та закономірностей розвитку інфляційних процесів в Україні на базі використання інтелектуального інструментарію науки про дані та машинного навчання Data Science/Machine Learning (DS/ML).

Мета статті полягає у побудові та використанні системи DS/ML — моделей для прогнозування інфляційних процесів в Україні на базі дослідження динаміки індексу інфляції та врахування сукупності макроекономічних факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню функціонування та розвитку інфляційних процесів присвячено численні праці як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. Найбільш вагомий внесок належить класикам економічної наук Дж. Кейнсу, І. Фішеру, М. Фрідману, Ф. Хаєку. Інстуціональним проблемам поточного перебігу, перспективам та ризикам розвитку інфляційних процесів приділено увагу в роботах вітчизняних вчених А. Гальчинського, О. Дзюблюка, О. Клименко, П. Круша, В. Литвицького, В. Міщенка, А. Мороза, М. Пуховкіної, М. Савлука, А. Савченка, В. Шевчука, П. Юхименка та багатьох інших. Увагу вчених привертали практичні питання пов'язані, зокрема, із можливістю та ефективністю оцінювання системи прямих та опосередкованих індикаторів розвитку інфляційних процесів в економіці, ступеня ризикованості інвестування з урахуванням поточного рівня інфляції на підставі прогнозування її величини та зумовлених нею характеристик курсової вартості, потенційного обсягу капіталізації, рівня волатильності ринків, експертних оцінок обсягів тіньової економіки тощо.

Моделюванню та прогнозуванню макроекономічних процесів, в тому числі динаміки інфляції на фінансовому ринку присвячено наукові праці В. Вітлінського, Г. Данильчук, В. Галіцина, В. Геєця,

П. Грицюка, І. Лук'яненко, Н. Максишко, А. Матвійчука, В. Соловйова, О.Суслова, О. Черняка та інших. Праці цих та багатьох інших дослідників [1-7] внесли значний вклад у розвиток вітчизняної наукової школи макроекономічного моделювання, зокрема, рівня інфляції, містять інструментарій математичного моделювання та прогнозування інфляційних процесів в національній економіці, виявлення дестабілізуючих факторів впливу на формування рівня цін та валютних курсів, розробляють базові комплекси моделей та модельних технологій прогнозування динаміки інфляційних процесів в Україні. Проведений аналіз літературних джерел свідчить, що оцінювання системи індикаторів розвитку інфляційних процесів має враховувати як динамічні тенденції у зміненні рівня інфляції, так і механізми впливу на них з боку низки факторів економічного середовища, наприклад, динаміки курсів валют, співвідношення між попитом та пропозицією, насиченості основних ринків тощо.

Незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених аналізу тенденцій змінення рівня інфляції в Україні, це явище залишається складним багатоаспектним об'єктом моделювання, що зумовлює необхідність використання широкого функціоналу новітніх інструментів визначення динамічних закономірностей розвитку та врахування механізмів впливу системи факторів економічного середовища. Найефективніші з них — DS/ML-технології моделювання динамічних процесів, що в даний час стрімко розвиваються, зокрема, у напрямі Learning Feature Engineering (LFE). В даний час він є особливо затребуваним для прогнозного моделювання часових рядів. Для часового ряду в цілому або для його ковзних або розширюваних вікон генеруються ознаки на базі описових статистик, фактичних показників нелінійності та складності системи, а також вимірюється періодичність поводження даних в межах часового ряду [8]. LFE — дослідження в області моделювання розвитку та еволюції економіки використовують кластерний аналіз часових рядів, в тому числі аналіз схожості за метриками відстаней, наприклад, метрикою динамічної трансформації часу (Dynamic Time Warping — DTW). Для моделювання динамічних процесів найбільш перспективними є моделі глибокого навчання Deep Learning на базе рекурентних нейронних мереж [9].

LFE — підхід реалізовано у розроблених за участю авторів моделях динамічного факторного аналізу [10,11], що поєднують методи класичного факторного аналізу та векторної авторегресії та дозволяють знайти патерни в даних динаміки для конструювання оптимального простору предикторів, побудувати мультиваріантні

прогнози та альтернативні варіанти розвитку та еволюції динамічної економічної системи. Підхід виявився ефективним при прогнозуванні макроекономічних процесів, зокрема, динаміки світових фондових індексів, курсів криптовалют, системи макроекомічних показників економіки країн Європи тощо.

Водночас інструменти класичного аналізу часових рядів є затребуваними як на етапі розвідувального аналізу даних, так і для побудови швидких процедур автоматичного навчання динамічних моделей AutoML.

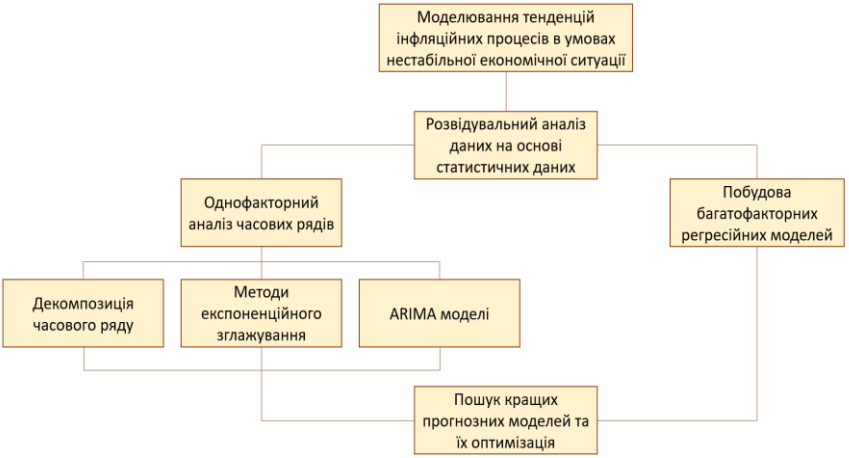


Рис. 1. Структура системи моделей дослідження інфляційних процесів

Джерело: Розроблено авторами

Виклад основного матеріалу дослідження. В роботі розглядається підхід до дослідження інфляційних процесів на базі сучасного інструментарію DS/ML — моделювання, етапи якого відображено на Рис. 1.

Для дослідження було використано дані динаміки індексу інфляції з офіційного сайту Міністерства фінансів України [12]. Було взято щомісячні дані за 2012–2020 роки, одержано 108 точок спостереження, що представлено в Табл. 1.

На першому етапі розвідувального аналізу даних було візуалізовано динамічний ряд індексу інфляції (Рис. 2). У 2014–2016 роках відбулося значне підвищення темпів зростання інфляційних процесів, що обумовлене нестабільною політично-економічною ситуацією в Україні. Пікове значення було досягнуто у квітні 2015 року внаслідок підвищення цін і тарифів та девальвації гривні, в

подальшому інфляція характеризувалася майже незмінним трендом до сповільнення.

Таблиця 1

ЧАСОВИЙ РЯД ІНДЕКСУ ІНФЛЯЦІЇ В УКРАЇНІ ЗА 2012–2020 роки

Міс.\Рік	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Січень	100.2	100.2	100.2	103.1	100.9	101.1	101.5	101.0	100.2
Лютий	100.2	99.9	100.6	105.3	99.6	101.0	100.9	100.5	99.7
Березень	100.3	100.0	102.2	110.8	101.0	101.8	101.1	100.9	100.8
Квітень	100.0	100.0	103.3	114.0	103.5	100.9	100.8	101.0	100.8
Травень	99.7	100.1	103.8	102.2	100.1	101.3	100.0	100.7	100.3
Червень	99.7	100.0	101.0	100.4	99.8	101.6	100.0	99.5	100.2
Липень	99.8	99.9	100.4	99.0	99.9	100.2	99.3	99.4	99.4
Серпень	99.7	99.3	100.8	99.2	99.7	99.9	100.0	99.7	99.8
Вересень	100.1	100.0	102.9	102.3	101.8	102.0	101.9	100.7	100.5
Жовтень	100.0	100.4	102.4	98.7	102.8	101.2	101.7	100.7	101.0
Листопад	99.9	100.2	101.9	102.0	101.8	100.9	101.4	100.1	101.3
Грудень	100.2	100.5	103.0	100.7	100.9	101.0	100.8	99.8	100.9

Джерело: Розроблено авторами на основі [12]

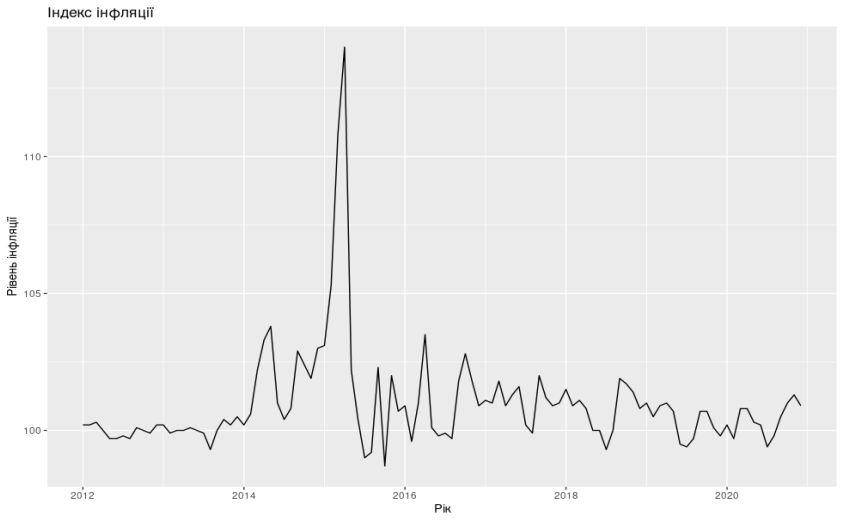


Рис. 2. Динаміка змінення індексу інфляції за 2012 -2020 роки

Джерело: Розроблено авторами

Суттєво, що процес змінення рівня інфляції, що представлено у вигляді сезонних графіків на Рис.3, не є сезонним, не містить циклічності та вираженої тенденції, за виключенням аномалій у 2014–2016 роках, отже можна припустити, що ряд є стаціонарним.

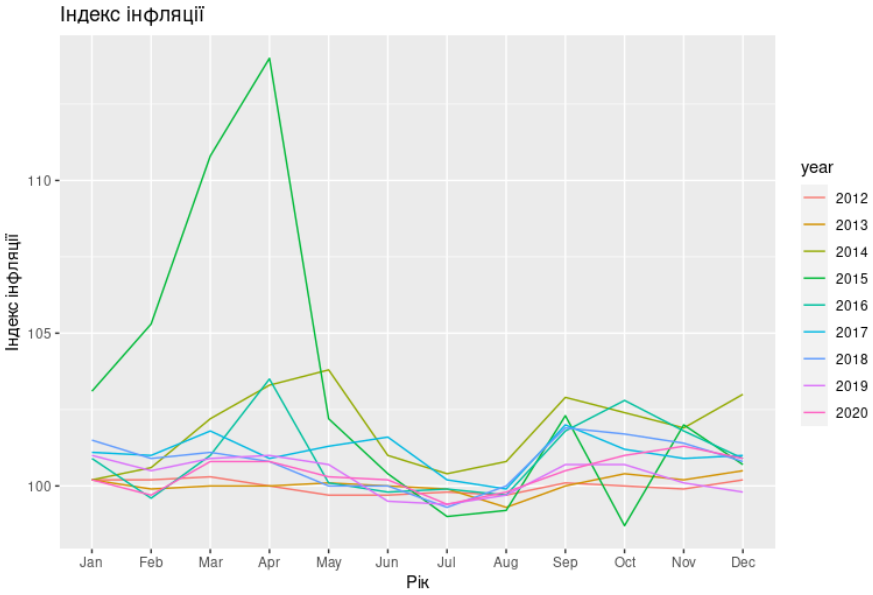


Рис. 3. Сезонний графік щомісячних показників зміни індексу інфляції

Джерело: Розроблено авторами

На **другому** етапі часовий ряд індексу інфляції було розкладено на основні компоненти (тренд, сезонність та нерегулярна поведінка ряду), що відображено на Рис. 4.

За результатами сезонної декомпозиції та коригування згладжено значні коливання досліджуваного показника інфляції на початку 2015 року. Упродовж всього періоду спостерігались нерегулярні значення досліджуваного показника, відсутні докази зміни дисперсії, що може пояснюватись тим, що на індекс інфляції впливає велика кількість факторів.

Третім етапом було дослідження залежності індексу інфляції від низки факторів, серед яких дефіцит Державного бюджету України (X1), державний зовнішній борг (X2), рівень безробіття (X3), золотовалютні резерви НБУ(X4), облікова ставка НБУ (X5), курсові

коливання UAH/USD (X6). Визначено, що на індекс інфляції найбільше впливають золотовалютні резерви НБУ (X4), облікова ставка НБУ (X5) та рівень безробіття (X3), причому між індексом інфляції та золотовалютними резервами НБУ існує обернена залежність. Було проаналізовано динаміку змінення кожного з факторів, що представлено на Рис. 5, та висунуто гіпотези про наявність та величину часового лагу для них.

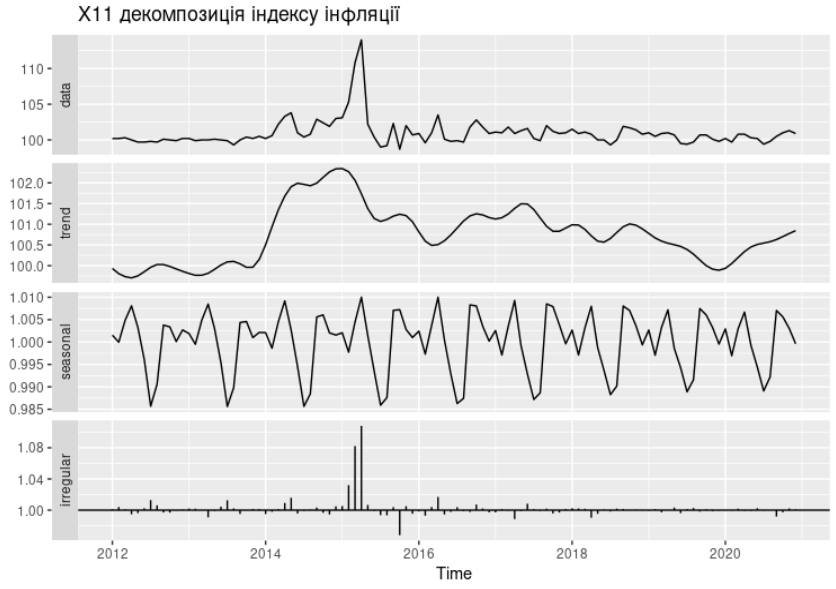
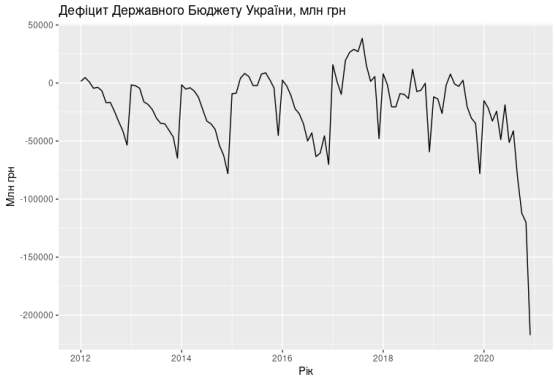


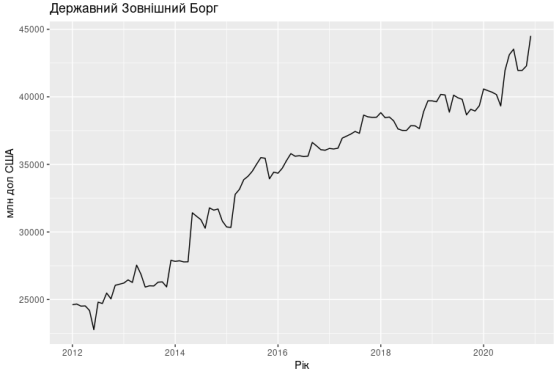
Рис. 4. X-11 — декомпозиція часового ряду індексу інфляції

Джерело: Розроблено авторами на основі [12]

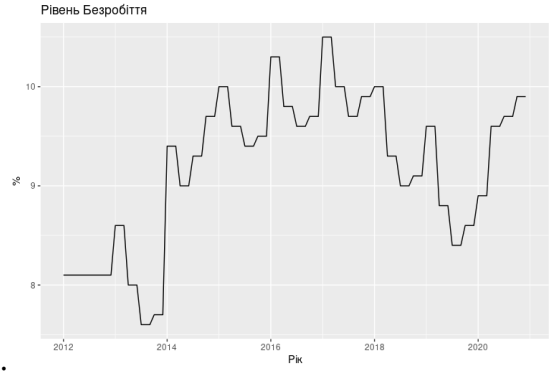
За досліджуваний період було зафіксовано значне збільшення дефіциту Державного бюджету України, зокрема, у середині 2020 року, що пов'язано з епідеміологічною ситуацією в Україні та у світі. За період 2014–2015 років (коли рівень індексу інфляції був найбільшим за досліджуваний проміжок часу) найбільше значення дефіциту державного боргу України припадало на грудень 2014 року та сягнуло значення –45167,5 млн грн, тому доцільно дослідити взаємозв'язок цієї змінної з індексом інфляції з лагом у 4 періоди (t-4).


Дефіцит Державного Бюджету України, млн грн
50000
0
-50000
-100000
-150000
-200000
Млн грн
2012
2014
2016
2018
2020
Рік

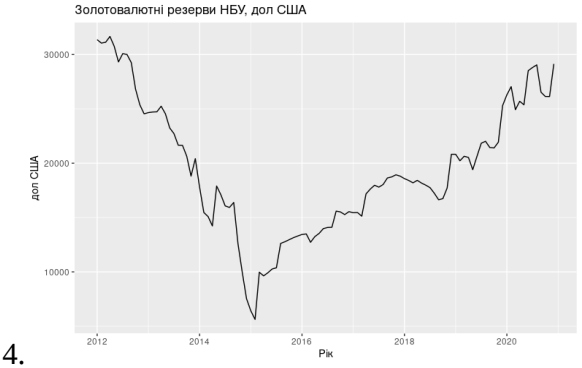
1.


Державний Зовнішний Борг
45000
40000
35000
30000
25000
млн дол США
2012
2014
2016
2018
2020
Рік

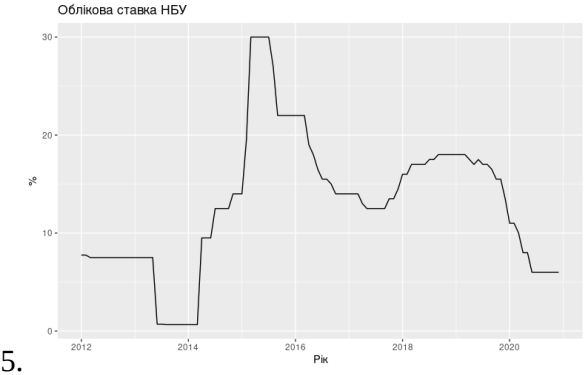
2.


Рівень Безробіття
10
9
8
%
2012
2014
2016
2018
2020
Рік

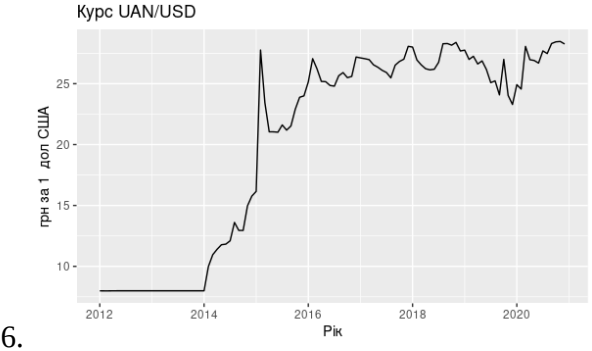
3.



4.



5.



6.

Рис. 5. Динаміка факторів, що впивають на індекс інфляції: 1 — дефіциту Державного Бюджету України; 2 — державного зовнішнього боргу; 3 –рівня безробіття; 4 — золотовалютних резервів України; 5 — облікової ставки НБУ; 6 — зміни курсу UAN/USD

Джерело: Розроблено авторами

Рівень державного зовнішнього боргу має постійний тренд до збільшення. Найшвидший стрибок спостерігався у травні 2014 року з 27794,7 до 31418,4 млн доларів США або на 11,5 %, що було пов'язано з нестабільною економічною ситуацією [12].

Рівень безробіття значно підвищився на кінці 2013 року з 7,7 % до 9,4. Після такого стрімкого зростання рівень безробіття в Україні поступово збільшувався, зокрема, внаслідок втрати досить великої кількості робочих місць у зв'язку з політичною ситуацією, та досяг свого найбільшого значення 10,5 % на початку 2017 року, після чого спостерігалась впевнена тенденція до зменшення рівня безробіття, аж до поки не почалась пандемія коронавірусної інфекції, що призвела до значного скорочення кількості робочих місць. Отже, з урахуванням динамки змінення рівня безробіття, доцільним буде розглянути лаг (t-1) для даного фактору.

Найбільше значення золотовалютних резервів України було зафіксовано у січні 2012 року та сягало 31364,11 доларів США. З 2012 по 2015 рік їх рівень стрімко знижувався та у лютому 2015 року досяг найменшого значення за весь період дослідження — 5625,31 доларів США. Після цього падіння, рівень золотовалютних резервів України поступово збільшувався до 29132,89 доларів США, і у кінці 2020 року майже досяг рівня 2012 року [12]. Врахуємо лаг даного показника у (t-2) періодів при аналізі його взаємозв'язку із індексом інфляції.

Облікова ставка мала найменше значення з середини 2013 року до початку 2014 року та сягала 6,5 %, після чого НБУ почав проводити жорстку монетарну політику шляхом збільшення облікової ставки до рівня 30 %, що тримався з березня до липня 2015 року [12]. У грудні 2016 р. Національний банк зміг повернути облікову ставку до рівня початку 2015 р. Ця тенденція свідчить про поступове пом'якшення монетарної політики в Україні, однак загалом рівень облікової ставки ще надто високий, щоб уважатися складником монетарної експансії. Нинішній рівень облікової ставки є важливим складником обмеження темпів інфляційних процесів в Україні, однак стримує економічне зростання вітчизняної економіки.

Курс гривні до долару США за 2012–2014 роки був сталим, що пов'язано з його фактичною фіксованістю. В 2014 році було встановлено плаваючий режим курсу гривні, у 2013–2015 роках курс гривні до долару США почав різко зростати та досяг значення 27,7631 UAN/USD у лютому 2015 року. Після цього стрімкого зростання курс гривні не падав нижче значення 23 UAN/USD. Отже,

доцільним буде проаналізувати вплив курсу гривні до долару США з лагом (t-1) на змінення індексу інфляції.

На **четвертому** етапі досліджуємо взаємообумовленість динаміки індексу інфляції та факторів з урахуванням лагів, а саме: дефіцит Державного Бюджету України з лагом (t-4); державний зовнішній боргу України з лагом (t-1); рівень безробіття з лагом (t-1); золотовалютні резерви НБУ з лагом (t-2); курсові коливання UAH/USD з лагом (t-1). Результати моделювання представлено в Таблиці 2.

Таблиця 2

ТІСНОТА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДЕКСОМ ІНФЛЯЦІЇ ТА ФАКТОРАМИ З УРАХУВАННЯМ ЛАГІВ

ryx1 = 0.0641	*ryx2 = 0.0122*	*ryx3 = 0.317*	*ryx4 = –0.4543*	*ryx5 = 0.3554*	*ryx6 = 0.1098*
ryx(t-4)1 = = –0.3834	*ryx(t-1)2 = = –0.0449*	*ryx(t-1)3 = = 0.3414*	*ryx(t-2)4 = = –0.4974*	*ryx5 = 0.3645*	*ryx(t-1)6 = = 0.105*

Джерело: Розроблено авторами

Отже, з урахуванням запізнення в механізмах впливу факторів на індекс інфляції визначено, що найбільше впливають золотовалютні резерви НБУ, облікова ставка НБУ, рівень безробіття та дефіцит Державного бюджету (причому без урахування лагу цей фактор мав найменший вплив з усіх пояснюючих змінних). Таким чином, дослідження часових зсувів в динаміці основних предикторів індексу інфляції дало можливість ідентифікувати зв'язки, що об'єктивно існують, але є розподіленими за впливом у часі. Також обернену залежність із індексом інфляції зафіксовано не лише із золотовалютними резервами НБУ, а й дефіцитом Державного бюджету та державним зовнішнім боргом України. Лагові процеси в потенційних предикторах індексу інфляції дали можливість зафіксувати найменший влив на нього з боку курсових коливань UAH/USD та державного зовнішнього боргу.

Наступним — **п'ятим** етапом було однофакторне моделювання динаміки індексу інфляції на базі екпоненційного згладжування за декількома моделями [13].

1. Модель простого екпоненційного згладжування побудовано за допомогою функції *ses()* в R [17]. З урахуванням обмеження $0 \leq \alpha \leq 1$ одержано оцінки параметрів $\hat{\alpha} = 0.8978$ і $\widehat{l_0} = 100.2026$ та побудовано прогноз на 12 періодів (Рис. 6).

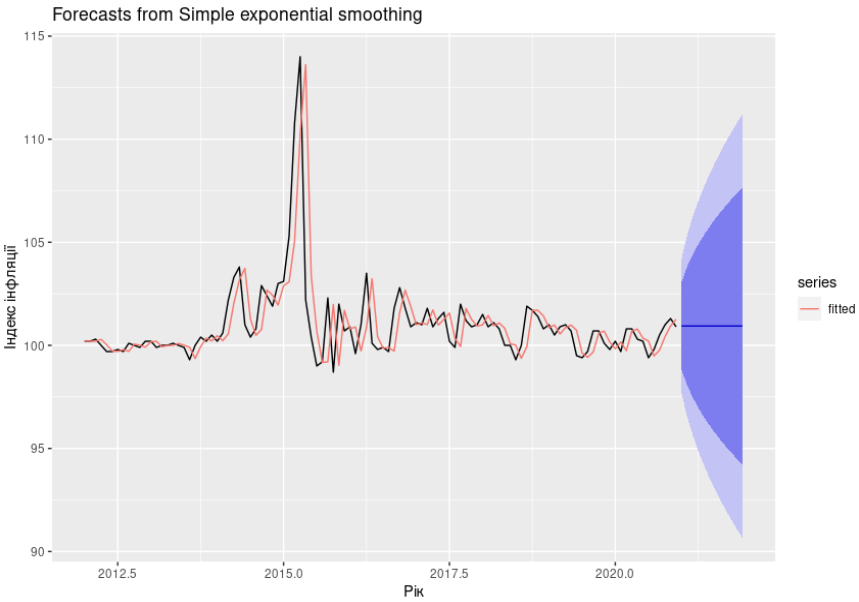


Рис. 6. Прогноз індексу інфляції на основі простого експоненційного зглажування (червоною лінією побудовано змодельовані значення, а чорною реальні)

Джерело: Розроблено авторами

2. Моделі експоненційного згладжування за допомогою методу лінійного тренду Холта. За допомогою функції *holt()* у R [17] оцінено параметри (згладжування: alpha = 0.8969, beta = 1e-04 та початкові стани: l = 100.1505, b = 0.0069)

3. Моделі експоненційного згладжування методом демпфування тренду. Було оцінено параметри (згладжування: alpha = 0.8989, beta = 1e-04, phi = 0.9446 та початкові стани: l = 99.9366, b = 0.0878) та побудовано прогноз (Рис. 7):

Порівняння ефективності застосованих процедур згладжування здійснено на основі оцінок точності прогнозу (RMSE, MAE, MAPE, MASE), інформаційних критеріїв Баєса Шварца, Акаїке і виправленого інформаційного критерію Акаїке та оцінки залишків і представлено в Табл. 3.

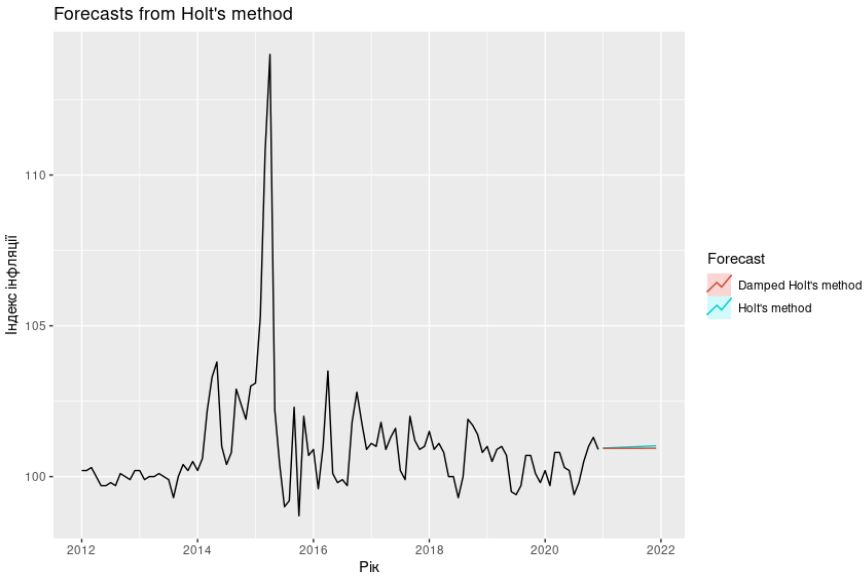


Рис. 7. Результати прогнозування індексу інфляції
за допомогою методу Хольта

Джерело: Розроблено авторами

Таблиця 3

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУ ІНДЕКСУ ІНФЛЯЦІЇ ЗА МЕТОДАМИ ПРОСТОГО ЕКСПОНЕНЦІЙНОГО ЗГЛАДЖУВАННЯ (ЕЗ), МЕТОДУ ХОЛЬТА ТА МЕТОДУ ДЕМПФУВАННЯ ТРЕНДУ

	RMSE	MAE	MAPE	MASE	AIC	AICc	BIC
Метод простого ЕЗ	1.6536	0.8750	0.8557	0.6359	620.3148	620.5455	628.3612
Метод Хольта	0.0004	1.6537	-0.0133	0.8561517	624.3252	624.9134	637.7359
Метод демпфування тренду	1.6538	0.878	0.8588	0.6381	626.3374	627.1690	642.4301

Джерело: Розроблено авторами

Отже, найкращою моделлю є метод простого експоненційного згладжування. Аналіз залишків для даної моделі (Рис. 8)

показав, що середнє значення залишків близьке до нуля. За графіком змінення залишків у часі, можна визначити, що варіація залишків залишається майже незмінною в історичних даних, тому залишкову дисперсію можна вважати незмінною. Гістограма залишків свідчить про те, що розподіл відхиляється від нормального. Графік ACF вказує на наявність автокореляції між залишками з лагом 12.

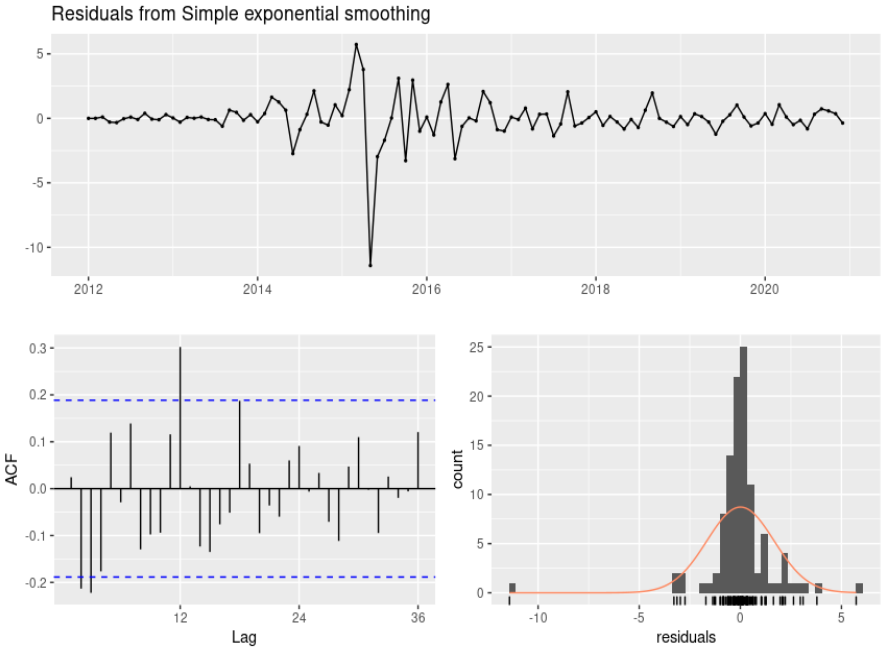


Рис. 8. Залишки при прогнозуванні індексу інфляції методом простого експоненційного згладжування

Джерело: Розроблено авторами

З урахуванням викладеного, наступним — **шостим** етапом дослідження стало використання ETS (error, trend, seasonal model) (M,N,A) — моделей. Результат застосування функції *etc()* в R для прогнозування індексу інфляції на 12 місяців вперед, використовуючи щомісячні дані за 2012–2020 роки при мінімізації AICc наведено на Рис. 9.

```
> ets <- window(y, start=2012)
> fit <- ets(ets)
> summary(fit)
ETS(M,N,A)

Call:
 ets(y = ets)

  Smoothing parameters:
    alpha = 0.8048
    gamma = 1e-04

  Initial states:
    l = 99.7321
    s = -0.2402 -0.0907 -0.1259 0.3203 -1.0835 -1.1528
           -0.6406 0.1106 1.6814 1.2193 -0.0179 0.02

  sigma:  0.0143

     AIC     AICc      BIC
600.4259 605.6433 640.6579

Training set error measures:
                    ME    RMSE       MAE         MPE      MAPE      MASE       ACF1
Training set 0.0165752 1.42055 0.8559825 0.005404638 0.8391314 0.6220615 0.05427538
```

Рис. 9. Результат використання функції etc() у R

Джерело: Розроблено авторами

За методом ETS (M,N,A) було оцінено параметри згладжування: alpha = 0.8048, gamma = 1e-04 та початкові стани: l = 99.7321, s = –0.2402, –0.0907, –0.1259, 0.3203 –1.0835 –1.1528, –0.6406, 0.1106, 1.6814, 1.2193, –0.0179, 0.02

Порівняно із попередніми дана модель є кращою за використовуваною системою критеріїв. На Рис. 10 побудовано прогноз індексу інфляції, де червоною лінією позначено дані апроксимації.

Наступним — **сьомим** етапом було однофакторне моделювання динаміки індексу інфляції на базі несезонних моделей ARIMA [14,15]. Функція *auto.arima()* у R [17] використовує комбінацію модульних кореневих тестів, мінімізацію AICc та MLE, результат моделювання представлено на Рис.11, 12. Тест KPSS (модульний кореневий тест) використовується для визначення кількості відмінностей (d) в алгоритмі Гіндмана-Хандакара для автоматичного моделювання ARIMA, величини p, d і q знаходяться шляхом мінімізації AICc.

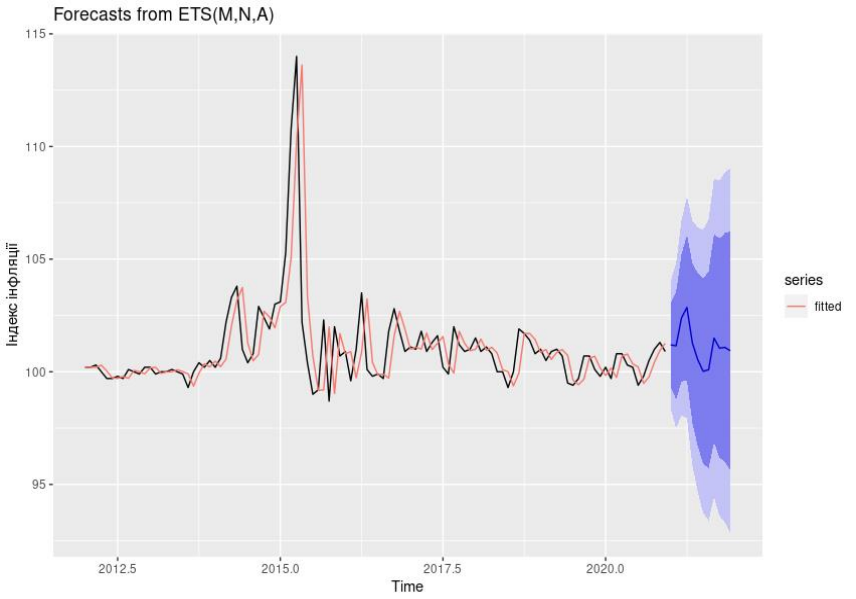


Рис. 10. Прогноз індексу інфляції за моделлю ETS (M, N, A)

Джерело: Розроблено авторами

```
> (avtoarima <- auto.arima(y, seasonal=FALSE))
Series: y
ARIMA(2,0,1) with non-zero mean

Coefficients:
          ar1     ar2     ma1      mean
      -0.1441  0.4121  0.8967  100.9473
s.e.   0.1096  0.1029  0.0563    0.3576

sigma^2 estimated as 2.191:  log likelihood=-193.99
AIC=397.97   AICc=398.56   BIC=411.38
```

Рис. 11. Результат використання функції auto.arima()

Джерело: Розроблено авторами

Маємо несезонну ARIMA(2,0,1) — модель вигляду:

$$y_t = c - 0.1441 * y_{t-1} + 0.8967 * y_{t-2} + 0.8967 * \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

де c — має значення c = 100.9473(1 + 0.1441 – 0.4121) = 73,8934*

За результатами моделювання, що представлено на Рис. 12, одержано несезонну ARIMA (1, 0, 3) модель вигляду:

$$y_t = c - 0.5436 * y_{t-1} + 1.3349 * \varepsilon_{t-1} + 0.8025 * \varepsilon_{t-2} + 0.3626 * \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t$$

*де c — має значення c = 100.9503 * (1 + 0.5436) = 155,8269*

```
> (avtoarima2 <- auto.arima(y, seasonal=FALSE,
+                           stepwise=FALSE, approximation=FALSE))
Series: y
ARIMA(1,0,3) with non-zero mean

Coefficients:
          ar1     ma1     ma2     ma3      mean
      -0.5436  1.3349  0.8025  0.3626  100.9503
s.e.   0.1850  0.1806  0.1751  0.0843    0.3093

sigma^2 estimated as 2.139:  log likelihood=-192.23
AIC=396.45   AICc=397.28   BIC=412.54
```

Рис. 12. Результат використання функції *auto.arima()* з парметрами *stepwise = FALSE* та *approximation = FALSE*

Джерело: Розроблено авторами

На **восьмому** етапі здійснено пошук найбільш ефективної моделі ARIMA та її параметрів p та q [16]. При аналізі ряду на стаціонарність, з урахуванням початкового припущення про відсутність доказів зміни дисперсії, перетворення Бокса-Кокса на здійснювалось. Для перевірки гіпотези про стаціонарність ряду застосовано модульний кореневий *тест Квятковського-Філліпса-Шмідта-Шіна (KPSS)* за допомогою функції *ur.kpss()* з пакету *urca* в R. На Рис. 13 представлено результат тестування.

```
> y %>% ur.kpss() %>% summary()

#######################
# KPSS Unit Root Test #
#######################

Test is of type: mu with 4 lags.

Value of test-statistic is: 0.1918

Critical value for a significance level of:
                10pct  5pct 2.5pct  1pct
critical values 0.347 0.463  0.574 0.739
```

Рис. 13. Результат тесту Квятковського-Філліпса-Шмідта-Шіна (KPSS)

Джерело: Розроблено авторами

Тестування показало, що статистика випробувань дорівнює 0.1918, вона є меншою діапазону критичних даних 0.739, 0.574, 0.463, 0.347, при ступенях свободи 1 %, 2.5 %, 5 % та 10 % відповідно, який ми очікуємо для стаціонарних даних. Отже, гіпотеза щодо стаціонарності часового ряду приймається. Так як ми не робили перетворення у часовому ряді, коефіцієнт d буде дорівнювати 0.

Для визначення коефіцієнтів p та q було побудовано графіки ACF та PACF (Рис. 14). Величина PACF свідчить про модель AR (2), адже спостерігається два значних викиди даних, якщо лаг дорівнює 12. Отже, початковою моделлю кандидата є ARIMA (2,0,0), а інші прийнятні моделі відсутні.

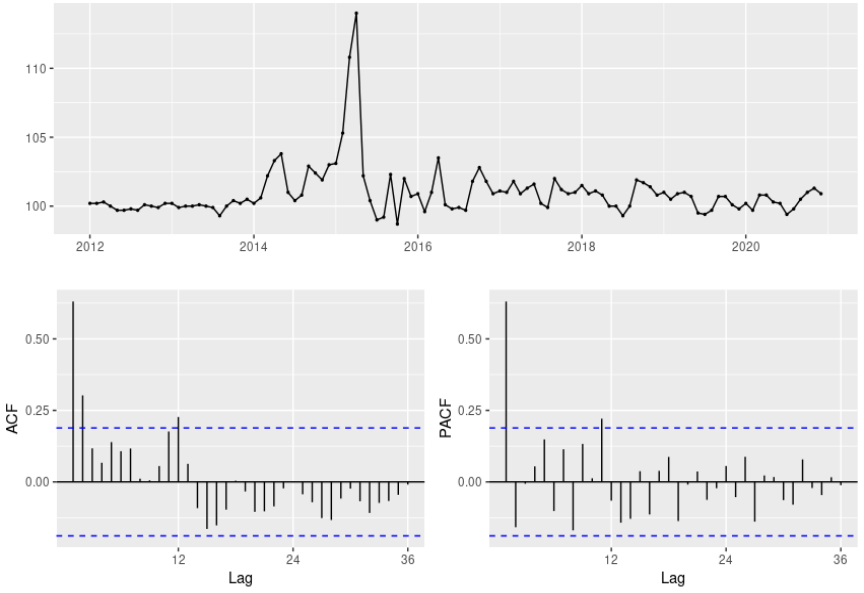


Рис. 14. Графіки ACF та PACF часового ряду індексу інфляції

Джерело: Розроблено авторами

Таким чином, в процесі моделювання було одержано декілька альтернативних динамічних авторегресіних моделей:

1. ARIMA (2,0,0):

$$y_t = c + 0.7247 * y_{t-1} - 0.1556 * y_{t-2} + \varepsilon_t$$

де c — має значення c= 100.9499(1-0.7247+0.1556) = 43,4993*

2. ARIMA (3,0,0):

$$y_t = c + 0.7238 * y_{t-1} - 0.1513 * y_{t-2} - 0.0057 * y_{t-3} + \varepsilon_t$$

де с має значення с= 100.9501(1-0.7238+0.1513+0.0057) = 43.7316*

3. ARIMA (1,0,0):

$$y_t = c + 0.6258 * y_{t-1} + \varepsilon_t$$

де с — має значення с= 100.9460(1-0.6258) = 37,774*

Для порівняння ефективності побудованих моделей ARIMA за допомогою інформаційних критеріїв AIC, AICc та BIC застосуємо дані Табл.4.

Таблиця 4

СИСТЕМА ІНФОРМАЦІЙНИХ КРИТЕРІЇВ ARIMA-МОДЕЛЕЙ

	AIC	**AICc**	**BIC**
ARIMA(2,0,1)	397.97	398.56	411.38
ARIMA(1,0,3)	396.45	397.28	412.54
ARIMA(2,0,0)	399.59	399.98	410.32
ARIMA(3,0,0)	401.59	402.18	415
ARIMA(1,0,0)	400.28	400.51	408.33

Джерело: Розроблено авторами

Отже, найкращою моделлю є ARIMA(1,0,3), яка має найменші значення інформаційних критеріїв AIC та AICc. Прогноз, побудований на основі моделі ARIMA(1,0,3) та оцінені за моделлю значення індексу інфляції показано на Рис. 15.

Подальше порівняння ефективності ARIMA та ETS-моделей за критерієм MSE (для ARIMA(1,0,3) одержано MSE = 3.804636, для ETS (M,N,A) – MSE = 3.810257) підтвердило перевагу ARIMA (1,0,3) — моделі з точки зору її прогностичної ефективності.

Завершальним — **дев'ятим етапом** дослідження було багатофакторне моделювання індексу інфляції на базі лінійної регресійної моделі, а також регуляризації на базі Рідж та Ласо регресії. Моделі будувались на навчальному наборі даних (70 відсотків) та оцінювались на тестовому. Масштабування пояснювальних змінних здійснювалось за допомогою функції *preProcess()* пакету *caret* в R. В дослідженні одержано низку моделей, зокрема:

1. Лінійна регресійна модель індексу інфляції, підсумок за якою наведено на Рис. 16.

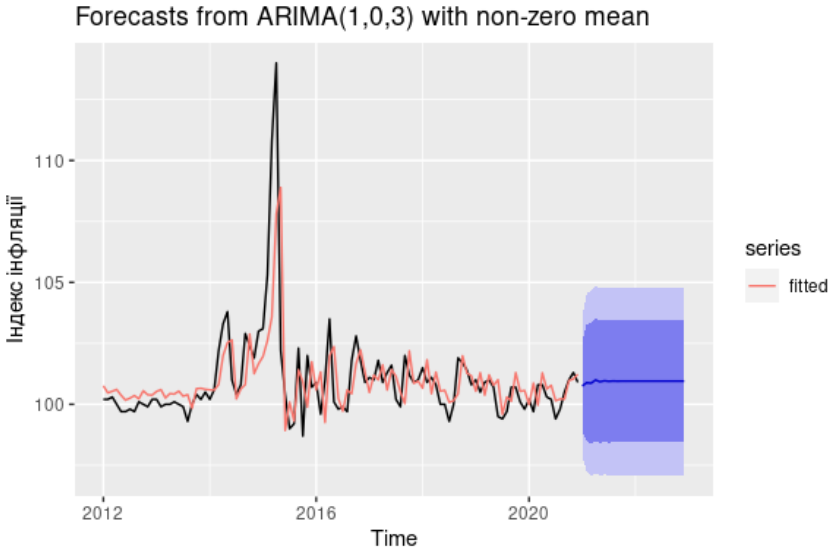


Рис. 15. Прогноз індексу інфляції на основі моделі ARIMA(1,0,3)

Джерело: Розроблено авторами

```
> summary(lr)

Call:
lm(formula = Y ~ X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6, data = train)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-3.0924 -0.5032 -0.0220  0.4675  7.9903

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 100.9173     0.1653 610.673   <2e-16 ***
X1           -0.1770     0.1889  -0.937    0.352
X2           -0.9006     0.5780  -1.558    0.124
X3            0.4342     0.2875   1.510    0.136
X4           -0.3501     0.2470  -1.418    0.161
X5            0.2353     0.2720   0.865    0.390
X6            0.5380     0.6784   0.793    0.430
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 1.431 on 68 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2808,    Adjusted R-squared:  0.2174
F-statistic: 4.426 on 6 and 68 DF,  p-value: 0.0007791
```

Рис. 16. Результати лінійної регресійної моделі для індексу інфляції

Джерело: Розроблено авторами

2. Ласо регресія із попередньою оптимізацією гіперпараметру регуляризації на базі використання функції *cv.glmnet()* в R. Визначено оптимальні значення лямбда, що дорівнює 0.316228 для Рідж, 0.0794 для Ласо моделей, та найкраще перехресне лямбда — 0.0794. Результати перевірки тісноти взаємозв'язку між індексом інфляції та системою предикторів, а також прогностичної ефективності моделей на навчальній та тестової вибірках узагальнено в Табл. 5.

Таблиця 5

РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІКИ ІНДЕКСУ ІНФЛЯЦІЇ НА БАЗІ ЛІНІЙНОЇ, РІДЖ ТА ЛАСО РЕГРЕСІЙ

	R2 — навчальна вибірка	RMSE — навчальна вибірка	R2 — тестова вибірка	RMSE — тестова вибірка
Лінійна регресія	0.22	1.36	0.22	1.26
Рідж регресія	0.26	1.39	0.199	2.25
Лассо регресія	0.25	1.39	0.186	2.27

Джерело: Розроблено авторами

Подальші експерименти проведено із побудовою лінійних регресійних моделей з урахуванням лагів пояснюючих змінних (які визначено на четвертому етапі роботи), відповідні результати наведено в Табл. 6.

Таблиця 6

РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІКИ ІНДЕКСУ ІНФЛЯЦІЇ НА БАЗІ ЛІНІЙНОЇ, РІДЖ ТА ЛАСО РЕГРЕСІЙ З УРАХУВАННЯМ ЛАГІВ

	R2 — навчальна вибірка	RMSE — навчальна вибірка	R2 — тестова вибірка	RMSE — тестова вибірка
Лінійна регресія	0.34	1.46	0.34	1.57
Рідж регресія	0.35	1.52	0.39	1.67
Лассо регресія	0.38	1.48	0.40	1.63

Джерело: Розроблено авторами

Отже, як для навчальної, так і для тестової вибірок найкращий результат щодо передбачення індексу інфляції має Ласо регресія, таким чином лагові пояснюючі змінні (дефіцит Державного Бюджету України, державний зовнішній борг, рівень безробіття, золотовалютні резерви НБУ, облікова ставка НБУ, курсові коливання UAH/USD) зумовлюють тенденції динамічного процесу формування індексу інфляції. З точки зору прогностичної ефективності найкращий результат має лінійна регресія.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Наведені результати побудови альтернативних прогнозів за системою моделей аналізу динаміки індексу інфляції в Україні підтверджують ефективність використання комплексного підходу до модельного опису процесів в одно- та багатофакторних динамічних системах. Зокрема, дослідження лагових зсувів в динаміці основних предикторів індексу інфляції надало можливість ідентифікувати зв'язки, що є розподіленими за впливом у часі, моделі ARIMA — ідентифікувати стійкі авторегресійні механізми динамічного ряду, а використання машинно-навчальних технологій на прикладі побудови лінійних моделей із регуляризацією — прогнозувати розвиток досліджуваної динамічної системи як багатофакторної. Розширення представленої в роботі системи моделей прогнозування розвитку інфляційних процесів в Україні, на думку авторів, відбуватиметься в напрямах VAR-моделювання, зокрема, побудови імпульсних функцій відгуку для індексу інфляції, що дадуть можливість врахувати структурні зрушення в макроекономічному середовищі, а також використання динамічного факторного аналізу для ідентифікації складних латентних систем взаємообумовленості факторів економічного середовища.

Бібліографічні посилання

1. Лук'яненко І. Г. Методологічні підходи до моделювання інфляційних процесів / І. Г. Лук'яненко // Наукові записки. Економічні науки. – 2009. — Т. 94. — С. 58–64.

2. Грабчук О. М. Прогнозування рівня інфляції в Україні: індетерміністський погляд/ Економічний вісник, 2020, №3 с. 27-34

3. Мирончук В. М. Прогнозування інфляції в Україні: багатофакторна економетрична модель / В. М. Мирончук, Ю. К. Чубар // Інфраструктура ринку. — 2018. — Вип. 8. — С. 161–166.

4. Пістунов І. М. Прогнозування інфляції в Україні на 2018 рік / І. М. Пістунов, К. О. Удовицька // Глобальні та національні проблеми економіки. − 2018. − Вип. 22. − С. 1058–1065.

5. Аверкина М. Ф. Моделювання рівня інфляції в Україні / М. Ф. Аверкина, Д. К. Каток [Електронний ресурс] // Державне управління: удосконалення і розвиток. − 2018. − № 5. − Режим доступу: http://www.dy.nayka.com.ua/pdf/5_2018/3.pdf.

6. Голюк В. Я. Аналіз динаміки та причин інфляції в Україні в 1991–2016 рр. / В. Я. Голюк, В. В. Подвальна// Науковий вісник Херсонського державного університету. — Серія «Економічні науки». − 2017. − Вип. 24, ч. 2. − С. 69–72.

7. Дербенцев В.Д., Великоіваненко Г.І., Даценко Н.В. Застосування методів машинного навчання до прогнозування часових рядів криптовалют. Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. 2019. № 8. С. 65–93.

8. Zheng A., Casari A. Feature Engineering for Machine Learning: Principles and Techniques for Data Scientists. 1st Edition. O'Reilly Media; March 2018 — 325 p.

9. Nielsen A. Practical Time Series Analysis: Prediction with Statistics and Machine Learning. O'Reilly Media, 2019. — 500 p.

10. Катунина О.С. Прогнозное факторное моделирование индексов фондового рынка. *Бізнес Інформ.* 2017. № 11. С. 197–202.

11. Вітлінський В.В., Катуніна О.С. Моделювання динамічних факторних систем макроекономічних показників деяких країн. Науковий журнал "Наукові записки Національного університету "Острозька академія" серія "Економіка"", 2019, №13(41), с. 88-97.

12. Офіційний сайт Міністерства фінансів України. [Електронний ресурс]. URL: https://minfin.com.ua/

13.Everette S. Gardner Jr. Exponential smoothing: The state of the art // Journal of forecasting. — 1985. — Т. 4, № 1. — С. 1-28.

14. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление: Пер. с англ. // Под ред. В. Ф. Писаренко. — М.: Мир, 1974, кн. 1. — 406 с.

15. Песаран М., Слейтер Л. Динамическая регрессия: теория и алгоритмы. М.: Изд-вл "Финансы и статистика". 1984. — 310 с.

16. Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2018) Forecasting: principles and practice, 2nd edition, OTexts: Melbourne, Australia.

17. Galit Shmueli, Kenneth C. Lichtendahl Jr; Practical Time Series Forecasting with R: A Hands-On Guide [2nd Edition] (Practical Analytics) Paperback — July 19, 2016

Статтю подано до редакції 14.11.2021

УДК: 621.372.542 DOI 10.33111/mise.101.10

Корольов А.П. к.т.н., доцент,
професор кафедри комп'ютерної математики та захисту інформації,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана».
Рибка С.В. к.т.н., доцент,
помічник директора Інституту проблем моделювання в енергетиці
НАН України.
Варава І.А. к.т.н., доцент,
доцент кафедри автоматизованого проектування
енергетичних процесів та систем,
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Мацаєнко А.М. к.т.н.,
старший викладач кафедри побудови телекомунікаційних систем,
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації
імені Героїв Крут.

Korolov A.P., Candidate of Technical Sciences,
Professor of the Department of Computer Mathematics
and Information Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman.
Rybka S.V., Candidate of Technical Sciences,
assistant director Institute of Energy Modeling Problems
of the National Academy of Sciences of Ukraine.
Varava I.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Automated Design of Energy
Processes and Systems, NTUU "Igor Sicorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Matsaenko A.M., Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer of the Department of Construction
of Telecommunication Systems,
Kruty Heroes Military Institute of Telecommunications and Informatization.

ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ «ДИЗАЙНЕР СМУГОВИХ ФІЛЬТРІВ НА ОСНОВІ ЧАСТОТНОЇ ВИБІРКИ»

SOFTWARE FOR DESIGN OF DIGITAL FILTERS "DESIGNER OF BANDPASS FREQUENCY SAMPLING FILTERS"

Анотація. *Існує багато програмних засобів для проектування цифрових фільтрів. Наприклад, пакет прикладних програм MATLAB має можливість моделювати та обчислювати різні типи цифрових фільтрів. Однак фільтрам частотної дискретизації (FSF) приділяється мало уваги, а відомих і доступних програмних засобів для їх розрахунку немає. Такі фільтри мають високу обчислювальну ефективність і гнучкість у переналаштуванні діапазонів частот, які аналізуються. Вони можуть бути корисними при розробці високопродуктивних аналізаторів спектру, обробки мовних сигналів, маніпуляції квадратурними фазовими сигналами тощо.*
Метод частотної дискретизації є одним із методів проектування фільтрів із кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ). Він полягає в отриман-

© А. П. Корольов, С. В. Рибка,
І. А. Варава, А. М. Мацаєнко, 2021

ні коефіцієнтів передатної функції фільтра безпосередньо з відліків заданої амплітудно-частотної характеристики (частотної характеристики). Ця характеристика легко встановлюється для смуг затримання (вона дорівнює нулю) і смуги пропускання (це одиниця). Отже, вагові коефіцієнти передатної функції, що визначаються частотною характеристикою в смузі пропускання, дорівнюють одиниці. Результуюча частотна характеристика фільтра відрізняється від бажаної на інтервали між вузлами інтерполяції. Ця різниця суттєво визначається заданими значеннями коефіцієнтів у перехідних смугах (так звані коефіцієнти переходу). Таким чином, основна проблема апроксимації полягає у правильному виборі порядку передатної функції та оптимальному визначенні коефіцієнтів переходу.
Метою даної статті є опис можливостей програмного засобу «Конструктор смугових частотних дискретизаційних фільтрів», що дозволяє оптимально розв'язати задачу апроксимації ФЧП, та продемонструвати приклад розв'язання такої задачі. Стаття має науково-методичний характер.
Ключові слова: *цифровий фільтр; фільтри частотної дискретизації; вагові коефіцієнти; частотні коефіцієнти; коефіцієнти переходу; передатна функція; характеристика загасання; цифровий банк смугових фільтрів.*

Abstract. *There are many software tools for designing digital filters. For example, the MATLAB application package has the ability to model and calculate different types of digital filters. However, little attention is paid to frequency sampling filters (FSF) and there are no well-known and available software tools for their calculation. Such filters have high computational efficiency and flexibility in reconfiguring the frequency bands that are analyzed. They can be useful in the design of high-performance spectrum analyzers, speech signal processing, quadrature phase signal manipulation, etc.*
The frequency sampling method is one of the methods of designing filters with finite impulse response (FIR). It consists in obtaining the coefficients of the transfer function of the filter directly from the samples of a given amplitude-frequency characteristic (frequency response). This characteristic is easily set for stopbands (it is zero) and passband (it is one). Therefore, the weighting coefficients of the transfer function, determined by the frequency response in the passband are equal to one. The resulting frequency response of the filter differs from the desired at intervals between interpolation nodes. This difference is significantly determined by the specified values of the coefficients in the transition bands (so-called transition coefficients). Thus, the main problem of approximation is contained in the correct choice of the order of the transfer function and the optimal determination of the transition coefficients.
The purpose of this article is to describe the capabilities of the software tool "Designer of bandpass frequency sampling filters", which allows you to optimally solve the problem of approximation FSF, and demonstrate an example of solving such a problem. The article has a scientific and methodological nature.
Keywords: *digital filter; frequency sampling filters; weighting coefficients; frequency coefficients; transition coefficients; transfer function; attenuation characteristic; digital bank of bandpass filters.*

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує багато програмних засобів для проектування цифрових фільтрів. Наприклад, у пакеті прикладних *MATLAB* є можливості моделювання та розрахунку різних типів цифрових фільтрів [1–4]. Проте фільтрам на основі частотної вибірки (ФОЧВ) приділяється мало уваги та загально-відомих і доступних програмних засобів їх розрахунку немає. Такі фільтри мають високу обчислювальну ефективність і гнучкість при переналаштуванні

смуг частот, шо аналізуються. Вони можуть бути корисними при проектуванні високопродуктивних аналізаторів спектру, обробці мовних сигналів, квадратурній фазовій маніпуляції сигналів тощо.

Метод частотної вибірки є одним з методів проектування фільтрів з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ) [5, 9–14]. Він полягає в отриманні коефіцієнтів передавальної функції фільтра безпосередньо з вибірок заданої амплітудно-частотної характеристики (АЧХ). Ця характеристика легко задається для смуг затримки (вона дорівнює нулю) і смуги пропускання (вона дорівнює одиниці). Тому вагові коефіцієнти передавальної функції, що визначаються АЧХ у смузі пропускання дорівнюють одиниці. При цьому результуюча частотна характеристика фільтра відрізняється від бажаної на інтервалах між вузлами інтерполяції. Ця різниця суттєво визначається заданими значеннями вагових коефіцієнтів у перехідних смугах, так званими перехідними коефіцієнтами [5, 13, 14]. Таким чином, основна задача апроксимації міститься у правильному виборі порядку передавальної функції та оптимальному визначенні перехідних коефіцієнтів. Відомий американський спеціаліст в області цифрової обробки сигналів Р. Лайонс у своїй роботі [5] розглядає задачу проектування ФОЧВ і наводить таблиці для їх розрахунку із значеннями перехідних коефіцієнтів передавальних функцій фільтрів нижніх частот (ФНЧ). Але не наводить інформації про те, як вони отримані та які алгоритми або програмні продукти використані. Крім того, наведені таблиці не враховують такий важливий параметр фільтрів, як нерівномірність характеристики загасання у смузі пропускання. Таблиці включають обмежене коло результатів і лише для ФНЧ.

У дослідженнях [9–14] оптимальні значення цих коефіцієнтів розраховуються за допомогою програм на основі алгоритмів чисельної оптимізації. Так у роботі [10] використовується метод еволюційного програмування, у роботі [9] — генетичний алгоритм (*GA*), у роботі [11] — метод рою частинок (*PSO*). У цих роботах критерієм розрахунку найчастіше є максимальне гарантоване загасання у смугах затримки. У роботах [12–14] отримано аналітичні вирази для розрахунку перехідних коефіцієнтів на основі мінімальної середньоквадратичної помилки між бажаною та результуючою частотною характеристикою фільтра у смугах затримки. Рішення задачі апроксимації за допомогою таблиць можливо лише для фільтрів, характеристики яких відповідають табличним. Для випадку задання нетабличних вимог обрані табличні рішення можуть бути далеко не оптимальними. Запропоновані оптимізаційні методи складні для програмної реалізації та

потребують багато часу для пошуку оптимального рішення. Недоліком відомих методів є також відсутність чіткого алгоритму дій щодо знаходження порядку фільтра та початкових значень перехідних коефіцієнтів передавальної функції, який дав би змогу проектувальникам послідовно вирішувати задачу апроксимації і програмно реалізовувати цю методику. У роботі [6] запропоновано оптимізаційну методику вирішення задачі апроксимації ФОЧВ, яку можна реалізувати програмно. Ця методика була покладена в основу оптимізаційної процедури, яка реалізована у програмному засобі.

Метою даної статті є опис можливостей цього програмного засобу та демонстрація прикладу вирішення задачі апроксимації ФОЧВ. Стаття має науково-методичний характер.

Опис програмного засобу. Пропонується розроблений програмний засіб «Дизайнер смугових фільтрів на основі частотної вибірки» [7], за допомогою якого можна провести інтерактивне проектування цифрових фільтрів методом частотної вибірки на основі модифікованої передавальної функції з дійсними коефіцієнтами. Інтерфейс користувача може бути відображений українською та англійською мовами. Користувачі спершу переходять за посиланням на головну сторінку публічної частини сайту, де приводиться основна інформація про можливості програмного продукту.

Меню містить посилання для переходу на сторінки «Головна», «Дизайнер фільтрів», «Публікації» та «Контакти». Основна робота здійснюється на сторінці «Дизайнер фільтрів»

Користувачу надається форма для вводу основних вимог до параметрів цифрового фільтру, що проектується:

- частоти зрізу;
- задане гарантоване загасання у смузі затримування;
- задана нерівномірність загасання у смузі пропускання.

При введенні цих параметрів автоматично розраховуються параметри, які застосовуються при апроксимації передавальної функції: порядок фільтру, значення частот у вузлах інтерполяції, частотні коефіцієнти, початкові інтерпольовані значення вагових коефіцієнтів у смузі пропускання та перехідній смузі, а також інші коефіцієнти. Одночасно відбувається оновлення графіку частотної характеристики загасання.

В алгоритмі апроксимації застосовуються:

- спосіб найкращого розташування сплесків загасання в смузі затримування фільтру на основі частотної вибірки;
- критерій досягнення глобально-оптимального рішення задачі апроксимації у смузі затримування фільтру на основі частотної вибірки;

- спосіб досягнення заданої величини нерівномірності характеристики загасання у смузі пропускання за допомогою коефіцієнтів Гіббса;
- властивість симетрії частотних характеристик передавальної функції;
- спосіб зменшення ширини перехідної смуги;
- властивість ідентичності вагових коефіцієнтів передавальної функції.

Рішення може бути використане для проектування банків цифрових смугових фільтрів і застосоване при обробці широкосмугових сигналів в радіолокації, гідролокації, телекомунікаціях, медичному електронному обладнанні. Адміністративна частина сайту дозволяє переглядати статистику відвідувань і повідомлення залишені за допомогою форми зворотного зв'язку із сторінки «Контакти».

Веб-ресурс реалізовано за допомогою стеку технологій *HTML*5, *JavaScript*, *PHP* і *MySQL*.

Мета створення дизайнеру смугових фільтрів на основі частотної вибірки. Дизайнер фільтрів створений з метою зручного інтерактивного визначення передавальної функції цифрових смугових фільтрів на основі частотної вибірки (ФОЧВ) за заданими вимогами до частотної характеристики загасання.

Програмний продукт допомагає розробникам ФОЧВ вирішити задачу першого етапу синтезу — задачу апроксимації. Єдиного загальноприйнятого алгоритму вирішення цієї задачі на даний час немає, що обумовлює відсутність відповідних довідників з розрахунку ФОЧВ. Отримані за допомогою дизайнера рішення є близькими до оптимальних.

Перша версія програмного продукту надає можливість розраховувати значення перехідних вагових коефіцієнтів (від одного до трьох для кожної смуги переходу) і вагових коефіцієнтів Гіббса. Ці коефіцієнти забезпечують локально оптимальне вирішення задачі апроксимації. Інші вагові коефіцієнти передавальної функції для смуги пропускання задаються рівними одиниці. Це значно полегшує задачу реалізації фільтра, але обумовлює не повну оптимальність рішення. Граничні частоти смуг затримування та пропускання фільтра визначаються «по факту розрахунку», тобто після забезпечення вимог до загасання. Всі інші параметри передавальної функції задаються у вихідних даних або розраховуються за наведеними формулами.

Наступна версія програмного продукту буде надавати можливість проводити розрахунки при строго заданих у вихідних даних частотах зрізу смугового фільтру.

Опис передавальної функції, що використовується

Модифікована передавальна функція має вигляд:

$$H(z) = (1 - t \times z^{-m}) \times \frac{1}{m} \times (1 - z^{-2}) \times \sum_k \frac{A_k(x_k) \times (-1)^k}{(1 + b_{1k} z^{-1} + b_2 z^{-2})}. \quad (1)$$

Коефіцієнти $A_k(x_k)$ функції (1) визначаються як модуль комплексної передавальної функції у вузлах інтерполяції:

$$A_k = |H(jx_k)|,$$

де k — номер вузла інтерполяції;

x_k — фіксовані значення нормованої цифрової частоти у особливих точках на інтервалі $x \in [0; \pi]$, які визначаються за формулами:

$$x_k = k \times \left(\frac{2\pi}{m}\right);\ k = 0 \ldots \left(\frac{m}{2}\right).$$

Або коефіцієнти A_k можна визначити через частотну характеристику загасання:

$$A_k = 10^{-\frac{a_k}{20}},$$

де a_k — значення характеристики загасання, що апроксимується, у вузлах інтерполяції (дБ).

Коефіцієнти b_{1k} і b_2 визначаються таким чином:

$$b_{1k} = -2r\,cos(x_k),\ \ b_2 = 1 - 2^{-d_д},$$

де $r = \sqrt{1 - 2^{-d_д}}$ — полюсна відстань;

$d_д$ — розрядність регістрів для запису кодів дробової частини;

m — порядок гребінчастого фільтра;

b_{1k} – частотні коефіцієнти, що визначають частоти резонансів цифрового резонатора;

b_2 — це фазовий коефіцієнт цифрового резонатора;

$\frac{1}{m}$ — нормуючий коефіцієнт;

t — коефіцієнт гребінчастого фільтра, який вводиться для усунення стану «множення на нуль» і враховує розрядність регістрів: $t = r^m = \left(\sqrt{1 - 2^{-d_д}}\right)^m$.

Після задання вихідних даних усі коефіцієнти передавальної функції (1), за виключенням вагових коефіцієнтів A_k просто розраховуються за допомогою наведених вище формул.

Найскладнішою задачею у даному випадку є знаходження оптимальних значень вагових коефіцієнтів A_k.

З метою зменшення числа математичних операцій вагові коефіцієнти цифрових резонаторів, центральні частоти яких знаходяться в смузі пропускання, доцільно прирівнювати одиниці ($A_k = 1$).

Вагові коефіцієнти цифрових резонаторів, центральні частоти яких знаходяться у перехідній смузі, називають перехідними ваговими коефіцієнтами і позначають — T_1, T_2, T_3 (рис. 1). У передавальній функції (1) перехідні коефіцієнти підставляються замість відповідного за частотою резонансу вагового коефіцієнта A_k цифрового резонатору. Перехідні вагові коефіцієнти в найбільшій мірі впливають на формування гарантованого загасання у смугах затримки фільтра. Кількість перехідних вагових коефіцієнтів в одній перехідній смузі позначається — T.

Для зменшення величини нерівномірності характеристики загасання фільтра у смузі пропускання застосовуються вагові коефіцієнти Гіббса. Ваговий коефіцієнт Гіббса (G) — це ваговий коефіцієнт цифрового резонатора, центральна частота якого знаходиться в перехідній смузі біля межі із смугою пропускання фільтра (рис. 1). Вагові коефіцієнти Гіббса в найбільшій мірі впливають на формування мінімальної нерівномірності характеристики загасання у смузі пропускання фільтра. У передавальній функції (1) коефіцієнти Гіббса підставляються замість відповідних вагових коефіцієнтів A_k. Їх кількість — завжди по одному в кожній перехідній смузі.

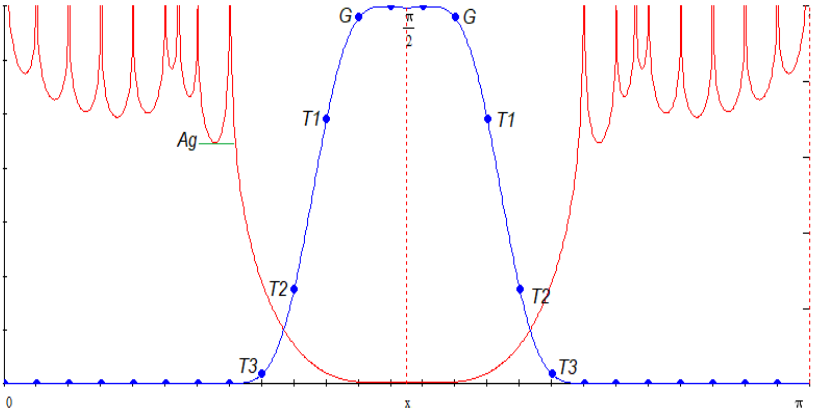


Рис. 1. Характеристики фільтра — АЧХ і загасання

Приклад розрахунку та аналіз результату. Покажемо приклад, в якому за заданими параметрами смугового ФОЧВ за допомогою ресурсу [7] визначається його модифікована передавальна функція (1). Вона забезпечує абсолютно симетричну відносно основної осі симетрії робочого діапазону нормованих цифрових частот $\pi/2$ частотну характеристику ослаблення. Проводиться аналіз цієї характеристики — визначається гарантоване ослаблення у смузі затримування a_g та нерівномірність ослаблення у смузі пропускання Δa.

Наприклад, вихідні дані для розрахунку ФОЧВ такі:

$m = 118$ — порядок гребінчастого фільтру;

$k \in \left\{1;\ \frac{118}{2} - 1\right\}$ — номери вузлів інтерполювання;

K = 4 — кількість вагових коефіцієнтів у смузі пропускання значення яких дорівнює одиниці$(A_k(x_k) = 1)$;

T = 2 — кількість перехідних вагових коефіцієнтів;

G — коефіцієнт Гіббса (завжди один);

$i \in \{1 \ldots 11\}$ — номери виходів банку фільтрів.

З початку розраховується абсолютно симетричний варіант відносно основної осі симетрії робочого діапазону нормованих цифрових частот — $\pi/2$. Для цього використаємо «Дизайнер смугових фільтрів на основі частотної вибірки» [13]. Отримуємо групу вагових коефіцієнтів смугового ФОЧВ (табл. 1). Номери вагових коефіцієнтів k = 25 – 34 визначаються автоматично з умови симетрії вузлів інтерполювання відносно значення $\pi/2$ та відповідно до інших вихідних даних.

Значення нормуючого коефіцієнту $n_s = 1.001927999$. Передавальну функцію (1) потрібно помножити на коефіцієнт $1/n_s$.

Таблиця 1

ВАГОВІ КОЕФІЦІЄНТИ СМУГОВОГО ФОЧВ (*M* = 118, *T* = 2)

Номери вагових коефіцієнтів	Значення вагових коефіцієнтів
$T_2 = A_{25}$	0.04615100973
$T_1 = A_{26}$	0.35726722354
$G = A_{27}$	0.83074043393
A_{28}	1
A_{29}	1
A_{30}	1
A_{31}	1
$G = A_{32}$	0.83074043393
$T_1 = A_{33}$	0.35726722354
$T_2 = A_{34}$	0.04615100973

Характеристику ослаблення цього фільтру зображено на рис. 2.

Отримане рішення відповідає умові:

$$\begin{cases} \Delta a = \Delta a_{min\,min}; \\ a_g = a_{gmax\,max}. \end{cases}$$

При цьому:

$a_g = 105.39$ дБ (значення гарантованого загасання у смузі затримування);

$\Delta a = 0.021$ дБ (нерівномірність загасання у смузі пропускання).

Всі інші коефіцієнти передавальної функції (1) ФОЧВ розраховуються відповідно з формулами, приведеними в описі ресурсу [13].

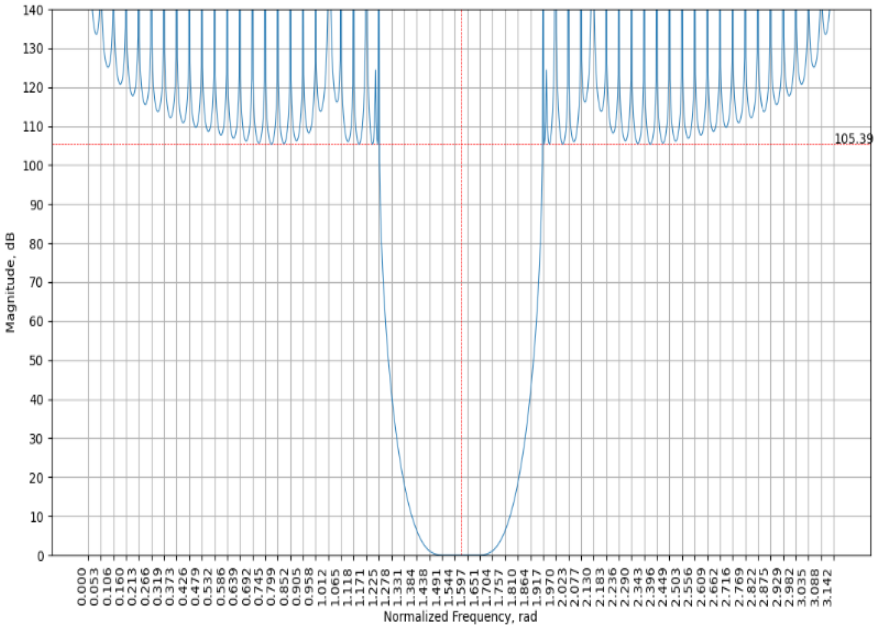


Рис. 2. Характеристика загасання смугового ФОЧВ (m = 118, T = 2)

Відповідно до табл. 1, для зберігання значень вагових коефіцієнтів на етапі реалізації можна використати не десять, а чотири регістри пам'яті (це кількість різних коефіцієнтів у групі).

Висновки. Розроблений програмний засіб «Дизайнер смугових фільтрів на основі частотної вибірки» [7] дозволяє розробля-

ти ФОЧВ — цифрові КІХ-фільтри з лінійною фазою, які мають значно вищу обчислювальну ефективність ніж традиційні КІХ-фільтри з лінійною затримкою. Так, для ФОЧВ, характеристика якого показана на веб-сторінці *https://filterdesigner.com/index/bank* дизайнеру, необхідно виконати 22 множення та 25 додавань на вихідну вибірку. Відомий традиційний КІХ-фільтр Паркса-Макклеллана [8] з відгалуженою лінією затримки з аналогічною АЧХ потребує 72 множення та 143 додавання на вихідну вибірку.

Розглянуте програмне забезпечення дозволяє отримати оптимальне рішення задачі апроксимації у процесі синтезу ФОЧВ, тобто задачі визначення його передавальної функції.

Рішення може бути використане для проектування банків цифрових смугових фільтрів і застосоване для розробки високопродуктивних аналізаторів спектру, при обробці широкосмугових сигналів в радіолокації, гідролокації, телекомунікаціях, медицині.

Напрямками подальшого вдосконалення програмного засобу «Дизайнер смугових фільтрів на основі частотної вибірки» є забезпечення можливості проектування ФНЧ. Також наступна версія програмного продукту буде надавати можливість проводити розрахунки при строго заданих у вихідних даних частотах зрізу фільтру.

Бібліографічні посилання

1. Дьяконов В.П. Пользовательские характеристики *MATLAB* 6.5 *SP* 1/7.0 + *Simulink* 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров, 2010. — СОЛОН-пресс. 578 с.

2. Строганов А. Проектирование цифровых фильтров в системе *MATLAB/Simulink* и САПР ПЛИС *Quartus*, 2008. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-tsifrovyh-filtrov-v-sisteme-matlab-simulink-i-sapr-plis-quartu (дата звернення 05.11.21).

3. Солонина А. Моделирование цифровой обработки сигналов в MATLAB. Часть 3. Описание структкр КИХ- и БИХ-фильтров в *MATLAB*, 2009. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-tsifrovoy-obrabotki-signalov-v-matlab-chast-3-opisanie-struktur-kih-i-bih-filtrov-v-matlab (дата звернення 04.11.21).

4. Андреев И.И., Ланнэ А.А. *MATLAB* для *DSP*: *SPTool* – инструмент для расчета цифровых фильтров и спектрального анализа сигналов. *Цифровая обработка сигналов*. 2000. С. 6-13.

5. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. М.: ООО „Бином-Пресс”, 2006. 656 с.

6. Рибка С.В., Корольов А.П., Мацаенко А.М., Варава І.А. Методика автоматизованого вирішення задачі апроксимації цифрових фільтрів на основі частотної вибірки. *Стаття у збірнику наукових праць ВІТІ, збірник*. №2. 2019.

7. Дизайнер смугових фільтрів на основі частотної вибірки. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://filterdesigner.com.

8. Algoritm дизайна фильтра Паркса-Макклеллана. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ru.knledgr.coowm ›.

9. Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W. Jervis, Digital Signal Processing: A Practical Approach (2nd Edition), Prentice Hall, 2002, 960 pages.

10. Chen X. P., Yu S. L., FIR filter design: frequency-sampling method based on evolutionary programming. *Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation*. Vol. 1. 2000. P. 575-579.

11. Wan-Ping Huang, Zhou Li-fang, Ji-xin Qian, FIR filter design: frequency sampling filters by particle swarm optimization algorithm, Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Shanghai, 26-29 August 2004, Vol. 4. P. 2322-2327.

12. Der-Feng Huang. A Computational Form of the Least Square Error Frequency Sampling Method for the Linear Phase FIR Filter Design, 2nd International Congress on Image and Signal Processing CISP ‘09, 17-19 Oct. 2009, pp. 1-4.

13. R. Y. Belorutsky, I. S. Savinykh. Modified technique of FIR filter design by the frequency sampling method, 2016 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST). Novosibirsk. 2016., P. 259-262. DOI: 10.1109/SIBIRCON.2016.7884100.

14. R. Y. Belorutsky, M.V. Oreshkina, I. S. Savinykh. The analytical approach for designing bandpass FIR filters by frequency sampling method, 2017, IEEE. P. 239-244. DOI: 10.1109/SIBIRCON.2017.8109879.

Статтю подано до редакції 14.11.2021

УДК: 519.71 DOI 10.33111/mise.101.11

Піскунова О. В., д. е. н., професор,
професор кафедри математичного моделювання та статистики,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Лігоненко Л.О., д. е. н., професор,
професор кафедри бізнес-економіки та підприємництва,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Клочко Р.С., здобувач
кафедри математичного моделювання та статистики,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Білик Т.О., к. е. н., доцент,
доцент кафедри математичного моделювання та статистики,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Piskunova O.V., Doctor of Economics, Professor,
Professor of the Department of Mathematical Modeling and Statistics,
SHEI KNEU named after V. Hetman

© О. В. Піскунова, Л. О. Лігоненко,
Р. С. Клочко, Т. О. Білик, 2021

Ligonenko L.O., Doctor of Economics, Professor,
Professor of the Department of Business Economics and Entrepreneurship,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Klochko R.S.,
Postgraduate student of the Department of Mathematical
Modeling and Statistics,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Bilyk T.O., PhD in Economics, Associate professor,
Associate professor of the Department of Mathematical
Modeling and Statistics,
SHEI KNEU named after V. Hetman

ЛОГ-ЛІНІЙНИЙ АНАЛІЗ ПРЕДИКТОРІВ ІНВЕСТИЦІЙНОГО УСПІХУ СТАРТАПІВ В УКРАЇНІ

LOG-LINEAR ANALYSIS OF STARTUPS INVESTMENT SUCCESS PREDICTORS IN UKRAINE

Анотація. *Прогнозування успіху стартапів завжди було проблемою як для практиків, так і для дослідників. За останні роки зроблено багато спроб спрогнозувати інвестиційний успіх стартапів, тобто успіх в отриманні венчурного фінансування чи залученні інвесторів, а також визначити ключові фактори його досягнення. Переважна більшість досліджень заснована на методах машинного навчання.*

Проблема більшості цих методів полягає в тому, що вони сильно залежать від кількості спостережень. Чим більше їх, тим краще алгоритми здатні передбачити успіх. Інша складність полягає в тому, що під час реалізації алгоритмів машинного навчання часто неможливо чітко зрозуміти внесок кожного з факторів моделі в кінцевий результат. Завдяки компаніям, які збирають дані про інші фірми, стало можливим створювати та тестувати моделі прогнозування на реальних прикладах.

Лог-лінійний аналіз дозволяє стиснути інформацію, що міститься в таблиці сполучень, у стислому вигляді з відносно невеликою кількістю параметрів. Крім того, лог-лінійна модель піддається змістовній інтерпретації результатів.

У дослідженні використано двовимірні та тривимірні таблиці сполучень для моделювання успіху стартапу. Аналізуючи результати впровадження методу з двовимірними таблицями сполучень, ми дійшли висновку, що тенденція до швидшого отримання фінансування існує для стартапів, які мають деякі особливості: досвід фінансування; бізнес-орієнтація стартапу; доступність сайту та присутність у соціальних мережах. Найважливішим провісником успіху є попередній досвід отримання інвестицій. У цьому випадку шанс отримати фінансування відноситься до шансу не отримати фінансування, наприклад 4,45 до 1.

Найкращий вплив на успіх стартап-проекту, під час реалізації тривимірних таблиць спряження, показали бізнес-орієнтація стартапу, наявність сайту, а також соціальні мережі, реклама, маркетинг або роздрібна торгівля як сфери їх діяльності, за умови, що всі мають досвід фінансування.

Слід зазначити, що ефекти взаємодії факторів, виявлених на основі двовимірних таблиць спряження, дещо відрізняються від ефектів, виявлених на основі тривимірних таблиць. Це стосується фактора «доступності патенту», ефект взаємодії якого зі швидкістю фінансування був значним у двовимірному випадку, але в тривимірному вже не був істотним. Це сто-

сується також взаємодії факторів «сфера діяльності — IT та телекомунікації» та «отримання фінансування», дія яких у тривимірному випадку на відміну від двовимірного є суттєвим. Причина відмінностей полягає в тому, що двовимірні таблиці частот не дозволяють врахувати вплив інших факторів.
Ключові слова: *запуск; логарифмічна лінійна регресія; таблиця сполучень; логарифмічний лінійний аналіз; провісники успіху.*

Abstract. *On average, according to global statistics, 9 out of 10 startups fail. The failure of a startup can be caused by several reasons, including poor management, imperfect business model, etc. But one of the main ones is the lack of funds for development due to the inability to obtain the necessary funding to attract a venture investor. Accordingly, one of the possible manifestations of the startup's success is investment success, by which we mean the fact of receiving funding from investors.*
Predicting the success of startups has always been a challenge for both practitioners and researchers. In recent years, many attempts have been made to predict the investment success of startups, ie success in obtaining venture financing or attracting investors, as well as to identify key factors in its achievement. The vast majority of research is based on machine learning methods.
The problem with most of these methods is that they are highly dependent on the number of observations. The more of them, the better the algorithms are able to predict success. Another difficulty is that during the implementation of machine learning algorithms, it is often impossible to clearly understand the contribution of each of the model factors to the end result. Thanks to companies that collect data on other firms, it has become possible to create and test forecasting models based on real examples.
This work is aimed at creating mathematical models that allow us to understand what factors influence the success and failure of the Ukrainian startup. The study used log-linear analysis, ie statistical analysis of conjugation tables using log-linear models. Log-linear analysis allows you to compress the information contained in the conjugation table in a concise form with a relatively small number of parameters. In addition, the log-linear model is subjected to a meaningful interpretation of the results.
The study used two-dimensional and three-dimensional conjugation tables to model the success of a startup. Analyzing the results of the implementation of the method with two-dimensional conjugation tables, we came to the conclusion that the tendency to get funding sooner exists for startups, which have some of the features: experience of financing; business orientation of the startup; availability of the site and presence in social networks. The most important predictor of success is previous experience in obtaining investments. In this case, the chance of getting funding refers to the chance of not getting funding like 4.45 to 1.
The best influence on the success of a startup project, during the implementation of three-dimensional conjugation tables, showed the business orientation of the startup, the presence of a site, and social networks, advertising, marketing, or retail as their areas of activities, provided that all have experience in financing.
It should be noted that the effects of the interaction of factors detected on the basis of two-dimensional conjugation tables are somewhat different from the effects detected on the basis of three-dimensional tables. This applies to the factor of "patent availability", the effect of the interaction of which with the rate of funding was significant in the two-dimensional case, but in the three-dimensional was no longer significant. This also applies to the interaction of factors "sphere of activity — IT and telecommunications" and "obtaining funding", the effect of which in the three-dimensional case in contrast to the two-dimensional is significant. The reason for the differences is that two-dimensional frequency tables do not allow to take into account the effects of other factors.
Keywords: *startup; log-linear regression; conjugation table; log-linear analysis; success predictors*

Постановка проблеми. У світі кількість стартапів зростає з кожним роком, постійно збільшуються інвестиції у нові продукти та послуги, стартапи стають двигуном економіки. З погляду на це, а також, враховуючи економічну ситуацію, що наразі склалася в Україні, розвиток стартапів тут набуває усе більшої актуальності. Активізація стартап-руху є важливим аспектом підвищення привабливості інвестиційного клімату країни, розвитку інноваційної діяльності. Набуває актуальності дослідження предикторів успішності стартап-проектів з точки зору перспективи отримання фінансування від інвесторів. Можливість розуміти, які предиктори критично важливі для успіху стартап-компанії, є цінною не лише для гравців у світі стартапів, але й для розробки заходів щодо стимулювання розвитку стартапів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні кілька десятиліть було реалізовано великий обсяг досліджень предикторів, що впливають на успіхи та невдачі у бізнесі. Автори таких досліджень намагалися пояснити успіхи та невдачі підприємств по всьому світу, використовуючи одновимірні або багатовимірні економетричні моделі, методи машинного навчання чи нейронних мереж, розглядаючи, при цьому, велику кількість пояснювальних змінних. У цих дослідженнях фактори успіху тісно пов'язані з історичними фінансовими даними та ключовими показниками ефективності компаній. Для аналізу, як правило, беруться великі масиви даних із значною кількістю змінних. Однак історичні фінансові дані, дані щодо продажу та виробництва не завжди можна отримати з відкритих джерел, що є серйозною перепоною для прогнозування успішності стартапу.

Невизначений і мінливий характер екосистеми стартапів ускладнює аналіз інформації та оцінку вірогідності успіху підприємства, зокрема-інвестиційного. У науковій літературі дослідження критеріїв успішності стартапів поділяються на дві основні течії: дослідження краудфандинг активності [10] та процесів залучення інвесторів до фінансування проекту [6]. Враховуючи те, що краудфандинг ще слаборозвинений в Україні, і за цим методом фінансується мала кількість стартапів, є сенс зосередили увагу виключно на інвестиційних проектах.

Можна виділити три гілки досліджень предикторів успіху стартап проектів. Першою є застосування методі експертної оцінки та їх інтерпретації для оцінки предикторів успішності стартапу [4]. У дослідженні [11] автори, за допомоги методу моделювання структурними рівняннями, проаналізували відповіді експертів і вибрали найголовніші фактори успішності компанії. Серед бага-

тьох характеристик компанії було виявлено, що наявність бізнес-стратегії розвитку, сприятливе економічне середовище та сфера торгівлі і послуг найбільше сприяють успіху підприємства. У іншому дослідженні для вирішення цієї проблеми автори використали метод аналізу ієрархій [13]. Ключовими предикторами отримання інвестицій було визначено інноваційність стартапу та компетентність підприємця.

Наступною гілкою підходів до оцінки предикторів успіху компанії є методи машинного навчання [9]. Факторами цих моделей є реальні показники активності компаній і їх власників [7]. Переважна кількість цих досліджень надає аналізу предикторів успіху невелику увагу, зосереджуючись на точності його передбачення [5]. Точність передбачення в таких наукових роботах досягається за рахунок реалізації від двох [9] до шести різних алгоритмів машинного навчання та вибору найточнішого [14]. Окрему увагу варто приділити дослідженням, які за фактори успіху компанії вважаються не особливості бізнес-активності, а дані про рівень їх соціальної активності [15]. Автори дослідження [14] прийшли до висновку, що лінгвістичні стилі кампаній у соціальних мережах, їх соціальна позиція, людський капітал спонсорів є кращими предикторами успіху компанії, ніж детермінанти на рівні фірми. Водночас слід зазначити, що переважна кількість методів машинного навчання важко піддається економічній інтерпретації, що суттєво ускладнює аналіз предикторів, які забезпечують достатню точність.

Останньою гілкою наукових підходів щодо оцінки предикторів успіху стартап компаній є використання методів глибинного навчання [8], включаючи нейронні мережі [12], для аналізу текстових, візуальних і лінгвістичних сигналів підприємств. Проте цим методам притаманні ті ж самі недоліки, що і для методів машинного навчання.

Слід звернути увагу на відсутність робіт, присвячених дослідженню українських стартапів саме методами математичного моделювання, які, незважаючи на певні недосконалості та обмеження, дозволяють отримати прийнятні результати моделювання в разі належної економічної інтерпретації розрахункових параметрів.

Таким чином, **метою** цього дослідження є оцінка предикторів, які впливають на ймовірність отримання фінансування українськими стартапами, за допомоги методів математичного моделювання, а саме методу лог-лінійного аналізу.

Методичним підходом до проведення дослідження обрано метод лог-лінійного моделювання. Цей вибір обумовлено тим, що

пріоритетним завданням визначено моделювання інвестиційного успіху стартапу залежно від низки предикторів, які його обумовлюють, а також інтерпретація вкладу кожного із предикторів на зростання шансів такого успіху. Перевагою цього підходу над іншими є те, що він дозволяє досить просто характеризувати зв'язки між змінними на невеликому масиві даних.

Виклад основного матеріалу дослідження. В якості джерела інформації використовувались дані сайту https://www.startupranking.com. База даних сервісу Startup Ranking містить інформацію про стартапи з різних країн світу. По кожному стартапу, який зареєстровано у базі даних сервісу, наявна така інформація: назва стартапу, країна та місто (регіон), де засновано стартап, рік заснування, інвестори; обсяг і дата надходження фінансування; конкуренти; члени команди; продукція; короткий опис стартапу, який містить інформацію щодо сфери діяльності, орієнтації, ключових клієнтів, ступеня новизни; наявності патенту тощо.

Також для кожного стартапу наводиться оцінка SR Score, яка відображає важливість стартапу в Інтернеті та його соціальний вплив. Оцінка SR Score розраховується на основі SR Web (відображає важливість стартапу в Інтернеті) і SR Social (відображає соціальний вплив стартапу). Важливість стартапу в Інтернеті (SR Web) визначається низкою факторів, зокрема: кількістю та якістю веб-сторінок, які посилаються на веб-сторінку запуску; розповсюдженням внутрішніх посилань; кількістю та якістю зовнішніх посилань; змістом веб-сторінки; якістю тег заголовку; кількістю відвідувань та унікальністю відвідувачів сайту запуску; кількістю переглядів; середньою тривалістю переглядів. Соціальний вплив стартапу (SR Social) визначається, зокрема, такими факторами: участь у Facebook (кількість лайків для фан-сторінки, кількість лайків за пости, кількість коментарів до повідомлень, кількість акцій для постів, кількість людей, втягнених у фан-сторінку, кількість передплатників у Твіттері, кількість та якість реквізитів, кількість фаворитів для твітів, кількість осіб, зайнятих обліковим записом).

У нашому дослідженні розглядались 167 стартапів з України, для опису яких, з урахуванням наявної інформаційної бази, використані такі характеристики:

$X1$ — досвід фінансування: $X1 = 1$ — наявність інвестицій у минулому, $X1 = 0$ — без інвестицій на момент дослідження;

$X2$ — орієнтація стартапу: $X2 = 1$ — бізнес-орієнтація стартапу (на отримання прибутку), $X2 = 0$ — орієнтація стартапу на інші цілі (окрема, соціальні);

$X3$ — рік заснування стартапу: $X3 = 1$ — стартап засновано у 2014 році або раніше, $X3 = 0$ стартап засновано після 2014 року;

$X4$ — ступінь новизни: $X4 = 1$ — стартап має інноваційний характер, $X4 = 0$ — інше;

$X5$ — ключові клієнти: $X5 = 1$ — орієнтація діяльності на кінцевого споживача (B2C), $X5 = 0$ — інше;

$X6$ — ключові клієнти: $X6 = 1$ — орієнтація на бізнес-структури (B2B), $X6 = 0$ — інше;

$X7$ — захист прав інтелектуальної власності: $X7 = 1$ — наявність патенту, $X7 = 0$ — відсутність патенту;

$X8$ — важливість в Інтернеті та соціальний вплав: $X8 = 1$ — наявність сайту та присутність у соціальних мережах, $X8 = 0$ — в іншому випадку;

$X9$ — регіон виникнення: $X9 = 1$ — Київ, $X9 = 0$ — інший регіон;

$X10$ — сфера діяльності: $X10 = 1$ — IT і телекомунікації, $X10 = 0$ — інше;

$X11$ — сфера діяльності: $X11 = 1$ — реклама, маркетинг і ритейл, $X11 = 0$ — інше;

$X12$ — наявність фінансування: $X12 = 1$ — фінансування отримано, $X12 = 0$ — фінансування не отримано.

Таким чином, у нашому дослідженні маємо справу з 12 номінальними бінарними ознаками. Для аналізу таких ознак будують таблиці сумісного розподілу частот їх значень, які називають таблицями спряженості. Таблиці спряженості можуть бути як двофакторними, так і багатофакторними. У випадку двох факторів A і B стовпці такої таблиці відповідають категоріям (градаціям) j номінальної ознаки B, а рядки — категоріям (градаціям) і номінальної ознаки A. Прикладом двовимірної таблиці спряженості є табл. 1 для бінарних ознак A і B.

Таблиця 1

ДВОВИМІРНА ТАБЛИЦЯ СПРЯЖЕНОСТІ ДЛЯ БІНАРНИХ ОЗНАК

Фактор A	**Фактор B**		**Всього**
	1. Не B	2. B	
1. Не A	n_{11}	n_{12}	n_{1*}
2. A	n_{21}	n_{22}	n_{2*}
Всього	n_{*1}	n_{*2}	n

У табл. 1 прийнято наступні позначення: $n_{ij},\ i = 1,\ 2,$ $j = 1,\ 2$ — спостережувана частота об'єктів, потрапивших до комірки $(A_i,\ B_j)$; $n_{i*},\ n_{*j}$ — маргінальні частоти, які розраховуються наступним чином: $n_{i*} = n_{i1} + n_{i2};\ n_{*j} = n_{1j} + n_{2j};\ n$ — загальний обсяг вибірки: $n = n_{**} = n_{1*} + n_{2*} = n_{*1} + n_{*2}$.

Прикладом тривимірної таблиці спряженості є табл. 2 для бінарних ознак A, B і C.

Таблиця 2

ТРИВИМІРНА ТАБЛИЦЯ СПРЯЖЕНОСТІ

Фактор A	Фактор C						Всього
	1. Не C			2. C			
	Фактор B			Фактор B			
	1. Не B	2. B	Всього	1. Не B	2. B	Всього	
1. Не A	n_{111}	n_{121}	n_{1*1}	n_{112}	n_{122}	n_{1*2}	n_{1**}
2. A	n_{211}	n_{221}	n_{2*1}	n_{212}	n_{222}	n_{2*2}	n_{2**}
Всього	n_{*11}	n_{*21}	n_{**1}	n_{*12}	n_{*22}	n_{**2}	n

Тут $n_{ijk}, i = 1,\ 2, j = 1,\ 2, k = 1,\ 2$ — спостережувана частота об'єктів, потрапивших до комірки $(A_i,\ B_j,\ C_k)$. Маргінальні частоти розраховуються таким чином:

$$n_{ij*} = n_{ij1} + n_{ij2}; n_{i*k} = n_{i1k} + n_{i2k}; n_{ij*} = n_{ij1} + n_{ij2};$$
$$n_{i**} = n_{i*1} + n_{i*2} = n_{i1*} + n_{i2*}; n_{*j*} = n_{1j*} + n_{2j*} = n_{*j1} + n_{*j2};$$
$$n_{**k} = n_{*1k} + n_{*2k} = n_{1*k} + n_{2*k};$$
$$n = n_{***} = n_{1**} + n_{2**} = n_{*1*} + n_{*2*} = n_{**1} + n_{**2}.$$

Для моделювання взаємозв'язків між розглядуваними номінальними змінними застосовано лог-лінійний аналіз, тобто статистичний аналіз таблиць спряженості за допомогою лог-лінійних моделей. Лог-лінійний аналіз дозволяє у стислій формі за допомогою порівняно невеликої кількості параметрів записувати інформацію, яка міститься у таблиці спряженості. Крім того, лог-лінійна модель піддається змістовній інтерпретації отримуваних результатів.

У лог-лінійній моделі теоретичні частоти n_{ij}^* перетворюються в їхні логарифми, які являють собою суму параметрів моделі.

Якщо модель має стільки параметрів, скільки комірок у таблиці спряженості, то її називають насиченою. Як наслідок така модель точно прогнозує частоти комірок, тобто для насиченої моделі $n_{ij}^{*} = n_{ij}$.

На початковому етапі дослідження проаналізовано двовимірні таблиці спряженості. Для двох факторів *A* і *B* лог-лінійна насичена модель має вигляд [2]:

$$ln\, n_{ijk}^{*} = u_0 + u_i^a + u_j^b + u_{ij}^{ab},$$

де u_0, u_i^a, u_j^b, u_{ij}^{ab} — параметри моделі, які називаються: u_0 — загальне середнє; u_i^a — головний вплив (ефект *i*-ої категорії фактора *A*); u_j^b — головний вплив (ефект *j*-ої категорії фактора *B*); u_{ij}^{ab} — взаємодія *i*-ої категорії фактора *A* та *j* категорії фактора *B* (вплив кон'юнкції факторів). Параметри моделі повинні задовольняти обмеженням:

$$\sum_i u_{ij}^{ab} = \sum_j u_{ij}^{ab} = \sum_i u_i^a = \sum_j u_j^b = 0,$$

Для таблиць спряженості 2×2 наведені обмеження набувають вигляду:

$$u_2^a = -u_1^a; u_2^b = -u_1^b; u_{12}^{ab} = -u_{11}^{ab}; u_{21}^{ab} = -u_{11}^{ab}; u_{22}^{ab} = u_{11}^{ab}.$$

Невідомі параметри моделі u_0, u_1^a, u_1^b, u_{11}^{ab} розраховуються таким чином:

$$u_0 = \frac{1}{4} ln(n_{11}^{*} n_{12}^{*} n_{21}^{*} n_{22}^{*}),\ u_1^a = \frac{1}{4} ln \frac{n_{11}^{*} n_{12}^{*}}{n_{21}^{*} n_{22}^{*}},\ u_1^b = \frac{1}{4} ln \frac{n_{11}^{*} n_{21}^{*}}{n_{12}^{*} n_{22}^{*}},$$

$$u_{11}^{ab} = \frac{1}{4} ln \frac{n_{11}^{*} n_{22}^{*}}{n_{12}^{*} n_{21}^{*}}.$$

У табл. 3 наведено отримані значення параметрів насичених лог-лінійних моделей, а також значення їх експонент. При проведенні розрахунків в якості фактора *A* в усіх моделях розглядався показник *X*12, а в якості фактора *B* — показники *X*1, *X*2, … , *X*11.

Сенс дослідження лог-лінійних моделей полягає в тому, щоб знайти відносно економне пояснення даних, якщо це взагалі можливе. Тому при проведенні лог-лінійного аналізу розглядаються різні варіанти спрощених моделей з тим, щоб знайти найпрості-

шу модель, яка задовільно пояснюватиме дані. Види спрощених лог-лінійних моделей для двохвимірних таблиць спряженості та відповідні формули для розрахунку теоретичних частот наведено у таблиці 4.

Таблиця 3

ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ НАСИЧЕНИХ ЛОГ-ЛІНІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДВОВИМІРНИХ ТАБЛИЦЬ СПРЯЖЕНОСТІ

Фактор В	Значення параметрів моделей				Експоненти подвійних значень параметрів моделей		
	u_0	u_1^a	u_1^b	u_{11}^{ab}	$e^{2u_1^a}$	$e^{2u_1^b}$	$e^{2u_{11}^{ab}}$
*X*1	3,22	0,77	0,00	0,75	4,63	1,00	4,45
*X*2	3,22	0,95	–0,70	0,31	6,69	0,25	1,86
*X*3	3,38	0,86	–0,29	0,36	5,61	0,57	2,04
*X*4	3,37	0,73	0,46	0,08	4,34	2,51	1,16
*X*5	3,47	0,77	0,00	–0,10	4,63	1,00	0,82
*X*6	3,33	0,72	0,55	0,09	4,26	3,00	1,19
*X*7	3,22	0,61	–0,72	–0,25	3,41	0,24	0,60
*X*8	3,40	0,84	–0,25	0,30	5,35	0,60	1,81
*X*9	2,98	0,87	–1,07	0,13	5,69	0,12	1,30
*X*10	3,22	0,66	0,73	0,18	3,72	4,29	1,43
*X*11	3,45	0,74	–0,19	–0,16	4,37	0,69	0,73

Таблиця 4

ВИДИ ЛОГ-ЛІНІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДВОВИМІРНИХ ТАБЛИЦЬ СПРЯЖЕНОСТІ

Номер моделі	Назва моделі	Вигляд моделі	Формули розрахунку теоретичних частот
1	Незалежності	$ln\, n_{ij}^* = u_0 + u_i^a + u_j^b$	$n_{ij}^* = \frac{n_{i*} n_{*j}}{n}$
2	Немає фактору В	$ln\, n_{ij}^* = u_0 + u_i^a$	$n_{ij}^* = \frac{n_{i*}}{2}$
3	Немає фактору А	$ln\, n_{ij}^* = u_0 + u_j^b$	$n_{ij}^* = \frac{n_{*j}}{2}$
4	Рівноймовірна	$ln\, n_{ij}^* = u_0$	$n_{ij}^* = \frac{n}{4}$

Для перевірки значимості певного параметра моделі (ефекту) розраховують статистику $\chi^2_{\text{інф}} = 2\sum_i^r \sum_j^s n_{ij}\, ln\frac{n_{il}}{n^*_{ij}}$ методу максимальної правдоподібності для моделі з вищим номером (моделі з параметром, значимість якого перевіряється), та моделі з нижчим номером (моделі без відповідного параметра). Далі необхідно відняти $\chi^2_{\text{інф}}$, отриманий для моделі з розглядуваним ефектом, від $\chi^2_{\text{інф}}$ для моделі без даного ефекту. Якщо для розрахованої таким чином різниці $\Delta\chi^2_{\text{інф}}$ відповідне p-значення є меншим за α, то ефект вважається значимим за рівня значимості $б$ і має бути присутнім у моделі. В іншому випадку ефект вважається не значимим та може бути виключеним з моделі [3].

У табл. 5 наведено результати перевірки значимості різних ефектів для двовимірних таблиць спряженості, а саме розрахункові значення різниць інформаційних критеріїв $ч^2_{інф}$ та відповідні їм p-значення.

Таблиця 5

РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРЕВІРКИ ЗНАЧИМОСТІ ЕФЕКТІВ ДЛЯ ДВОВИМІРНИХ ТАБЛИЦЬ СПРЯЖЕНОСТІ

Фактор В	Ефект взаємодії факторів А і В		Ефект 1 категорії фактора А		Ефект 1 категорії фактора В	
	$Дч^2_{інф}$	p-значення	$Дч^2_{інф}$	p-значення	$Дч^2_{інф}$	p-значення
$X1$	44,2	0,0000	76,2	0,0000	29,0	0,0000
$X2$	5,4	0,0197	76,2	0,0000	34,5	0,0000
$X3$	10,7	0,0011	76,2	0,0000	0,3	0,5902
$X4$	0,5	0,4972	76,2	0,0000	38,4	0,0000
$X5$	1,0	0,3182	76,2	0,0000	0,7	0,3973
$X6$	0,5	0,4596	76,2	0,0000	51,7	0,0000
$X7$	4,1	0,0424	76,2	0,0000	89,2	0,0000
$X8$	7,6	0,0057	76,2	0,0000	0,5	0,4886
$X9$	0,6	0,4340	76,2	0,0000	107,4	0,0000
$X10$	2,0	0,1562	76,2	0,0000	85,8	0,0000
$X11$	2,3	0,1292	76,2	0,0000	13,2	0,0003

Виходячи зі змістовної постановки завдання, являє інтерес дослідження ефектів взаємодії показника $X12$ — отримання стартапом фінансування, з іншими розглядуваними предикторами. Показник $X12$ виступає відгуком, а інші показники — факторами (розрізнення між відгуком і факторами є розрізненням між результатом і причиною). Тому нас цікавить, як змінюється відгук під дією факторів, самі ж ефекти факторів і їхні взаємодії у нашому випадку не мають першочергового інтересу.

Для перевірки значимості ефекту взаємодії використовувались різниці статистик $ч^2_{інф}$, розраховані для насиченої моделі та моделі 1 (таблиця 4). Як можна бачити з табл. 5, значимий ефект взаємодії при рівні значимості, меншим за 1 %, має місце для наступних пар факторів: $X1$ і $X12$; $X3$ і $X12$: $X8$ і $X12$, значимий ефект взаємодії при рівні значимості, меншим за 5 % — для пар $X2$ і $X12$, $X7$ і $X12$. Насичені лог-лінійні моделі для даних пар факторів представлені у табл. 6.

Таблиця 6

НАСИЧЕНІ ЛОГ-ЛІНІЙНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ДВОВИМІРНИХ ТАБЛИЦЬ СПРЯЖЕНОСТІ

Фактор B	Значення фактора A	Значення фактора B	
		$X_j = 0$	$X_j = 1$
$X1$	$X12$=0	$ln\, n^*_{11} = 3{,}22 + 0{,}77 + 0{,}00 + 0{,}75$	$ln\, n^*_{12} = 3{,}22 + 0{,}77 - 0{,}00 - 0{,}75$
	$X12$=1	$ln\, n^*_{21} = 3{,}22 - 0{,}77 + 0{,}00 - 0{,}75$	$ln\, n^*_{22} = 3{,}22 - 0{,}77 - 0{,}00 + 0{,}75$
$X2$	$X12$=0	$ln\, n^*_{11} = 3{,}22 + 0{,}95 - 0{,}70 + 0{,}31$	$ln\, n^*_{12} = 3{,}22 + 0{,}95 + 0{,}70 - 0{,}31$
	$X12$=1	$ln\, n^*_{21} = 3{,}22 - 0{,}95 - 0{,}70 - 0{,}31$	$ln\, n^*_{22} = 3{,}22 - 0{,}95 + 0{,}70 + 0{,}31$
$X3$	$X12$=0	$ln\, n^*_{11} = 3{,}38 + 0{,}86 - 0{,}29 + 0{,}36$	$ln\, n^*_{12} = 3{,}38 + 0{,}86 + 0{,}29 - 0{,}36$
	$X12$=1	$ln\, n^*_{21} = 3{,}38 - 0{,}86 - 0{,}29 - 0{,}36$	$ln\, n^*_{22} = 3{,}38 - 0{,}86 + 0{,}29 + 0{,}36$
$X7$	$X12$=0	$ln\, n^*_{11} = 3{,}22 + 0{,}61 - 0{,}72 - 0{,}25$	$ln\, n^*_{12} = 3{,}22 + 0{,}61 + 0{,}72 + 0{,}25$
	$X12$=1	$ln\, n^*_{21} = 3{,}22 - 0{,}61 - 0{,}72 + 0{,}25$	$ln\, n^*_{22} = 3{,}22 - 0{,}61 + 0{,}72 - 0{,}25$
$X8$	$X12$=0	$ln\, n^*_{11} = 3{,}40 + 0{,}84 - 0{,}25 + 0{,}30$	$ln\, n^*_{12} = 3{,}40 + 0{,}84 + 0{,}25 - 0{,}30$
	$X12$=1	$ln\, n^*_{21} = 3{,}40 - 0{,}84 - 0{,}25 - 0{,}30$	$ln\, n^*_{22} = 3{,}40 - 0{,}84 + 0{,}25 + 0{,}30$

Для всіх моделей, представлених у табл. 6, ефект взаємодії можна вважати таким, що має реальний, а не випадковий характер, причому, як видно з табл. 6, для пар предикторів $X1$ і $X12$, $X2$

і $X12$, $X3$ і $X12$, $X8$ і $X12$ цей ефект є додатним, а для пари $X7$ і $X12$ — від'ємним. Це означає, що тенденція скоріше отримати фінансування існує для стартапів, у яких наявна якась з ознак: досвід фінансування; бізнес-орієнтація стартапу; наявність сайту та присутність у соціальних мережах. Крім того, скоріше отримують фінансування стартапи, засновані до 2015 р. Водночас наявність патенту зменшує для стартапу ймовірність отримати фінансування.

Аналіз табл. 6 показує, що серед представлених тут моделей, найбільший внесок ефекту взаємодії у логарифм частоти випадків отримання фінансування спостерігається для пари предикторів $X1$ і $X12$. Сполучення категорій «отримання фінансування» та «досвід фінансування» або категорій «відсутність фінансування» та «без інвестицій на поточний момент» збільшує загальну середню u_0 на 0,75, інші сполучення категорій цих ознак зменшують загальну середню на 0,75.

Маючи значення оцінок параметрів, ми можемо розрахувати оцінки переважання, які є відношенням експоненти подвійного значення параметра до 1 [1]. Так, для пари предикторів $X12$ та $X1$ оцінка параметру $u_{11}^{ab} = 0{,}75$, звідси $e^{2u_1^a} = e^{2 \cdot 0{,}75} = 4{,}45$ (див. табл. 3). Тоді відповідну оцінку переважання можна записати у вигляді відношення 4,45 до 1. Це означає, що шанс отримати фінансування відноситься до шансу не отримати фінансування, як 4,45 до 1 за умови наявності досвіду фінансування. Також, на основі результатів, представлених у табл. 3, можна сказати, що шанс отримати фінансування відноситься до шансу не отримати фінансування, як:

1,86 до 1 за умови бізнес-орієнтації стартапу;

2,04 до 1 за умови заснування стартапу до 2014 року;

0,60 до 1 за умови наявності патенту;

1,81 до 1 за умови наявності сайту та присутності у соціальних мережах.

На другому етапі дослідження побудовано та проаналізовано тривимірні таблиці спряженості. У даному випадку лог-лінійна насичена модель має вигляд [2]:

$$ln\, n_{ijk}^{*} = u_0 + u_i^a + u_j^b + u_k^c + u_{ij}^{ab} + u_{ik}^{ac} + u_{jk}^{bc} + u_{ijk}^{abc}, \quad (1)$$

де u_0, u_i^a, u_j^b, u_k^c, u_{ij}^{ab}, u_{ik}^{ac}, u_{jk}^{bc}, u_{ijk}^{abc} — параметри моделі, які називаються: u_0 — загальне середнє; u_i^a — головний вплив, ефект i-ої категорії фактору A; u_j^b — головний вплив, ефект j-ої катего-

рії фактору A; u_k^c — головний вплив, ефект k-ої категорії фактора A; u_{ij}^{ab} — взаємодія першого порядку i-ої категорії фактора A та j-ої категорії фактору B (вплив кон'юнкції факторів); u_{ik}^{ac} — взаємодія першого порядку i-ої категорії фактора A та k-ої категорії фактора C (вплив кон'юнкції факторів); u_{jk}^{bc} — взаємодія першого порядку j-ої категорії фактора B та k-ої категорії фактора C (вплив кон'юнкції факторів); u_{ijk}^{abc} — трьохфакторна взаємодія другого порядку i-ої, j-ої і k-ої категорій відповідно факторів A, B і C.

Формули для розрахунку параметрів моделі (1) можна знайти в [2]. Як і у двовимірному випадку, така модель повністю відтворює таблицю спряженості спостережуваних частот. $n_{ijk}^* = n_{ijk}$. Ненасичені лог-лінійні моделі для тривимірного випадку представлено у табл. 7.

Таблиця 7

ВИДИ ЛОГ-ЛІНІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТРИВИМІРНИХ ТАБЛИЦЬ СПРЯЖЕНОСТІ

№	Назва моделі	Позначення	Вигляд моделі
1	Умовної незалежності AB, AC, BC	AB/AC/BC	$ln\, n_{ijk}^* = u_0 + u_i^a + u_j^b + u_k^c + u_{ij}^{ab} + u_{ik}^{ac} + u_{jk}^{bc}$
2	Модель з відсутністю взаємодії BC (два парних зв'язки)	AB/AC	$ln\, n_{ijk}^* = u_0 + u_i^a + u_j^b + u_k^c + u_{ij}^{ab} + u_{ik}^{ac}$
3	Модель з відсутністю взаємодії AC (два парних зв'язки)	AB/BC	$ln\, n_{ijk}^* = u_0 + u_i^a + u_j^b + u_k^c + u_{ij}^{ab} + u_{jk}^{bc}$
4	Модель з відсутністю взаємодії AB (два парних зв'язки)	AC/BC	$ln\, n_{ijk}^* = u_0 + u_i^a + u_j^b + u_k^c + u_{ik}^{ac} + u_{jk}^{bc}$
5	Модель незалежності AB і C (один парний зв'язок)	AB/C	$ln\, n_{ijk}^* = u_0 + u_i^a + u_j^b + u_k^c + u_{ij}^{ab}$
6	Модель незалежності AC і B (один парний зв'язок)	AC/B	$ln\, n_{ijk}^* = u_0 + u_i^a + u_j^b + u_k^c + u_{ik}^{ac}$
7	Модель незалежності BC і B (один парний зв'язок)	BC/A	$ln\, n_{ijk}^* = u_0 + u_i^a + u_j^b + u_k^c + u_{jk}^{bc}$
8	Модель з відсутністю впливу головного ефекту фактору C	AB	$ln\, n_{ijk}^* = u_0 + u_i^a + u_j^b + u_{ij}^{ab}$

Закінчення табл. 7

№	Назва моделі	Позначення	Вигляд моделі
9	Модель з відсутністю впливу головного ефекту фактору *B*	AC	$ln\, n^*_{ijk} = u_0 + u^a_i + u^c_k + u^{ac}_{ik}$
10	Модель з відсутністю впливу головного ефекту фактору *A*	BC	$ln\, n^*_{ijk} = u_0 + u^b_j + u^c_k + u^{bc}_{jk}$
11	Модель головних ефектів трьох факторів	A/B/C	$ln\, n^*_{ijk} = u_0 + u^a_i + u^b_j + u^c_k$
12	Рівноймовірна модель		$ln\, n^*_{ijk} = u_0$

Зазначимо, що моделі, представлені у табл. 4 і 7, відносяться до класу так званих ієрархічних моделей, тобто таких моделей, для яких діє наступне правило: якщо у модель включено параметр, що залежить від множини факторів, то модель повинна містити також і всі параметри, що залежать від будь-якої підмножини з цієї множини факторів [1].

У табл. 8 наведено результати перевірки значимості ефектів взаємодії для тривимірних таблиць спряженості. Як і раніше, в якості предиктора *A* розглядався показник *X*12, який у нашому випадку виступає як відгук. З урахуванням попереднього етапу дослідження в якості предиктора *B* було обрано показник *X*1. В якості предиктора *C* розглядались показники *X*2,... , *X*11. У табл. 8 представлено розрахункові значення різниць інформаційних критеріїв $ч^2_{інф}$ та відповідні їм *p*-значення для різних ефектів взаємодії.

Таблиця 8

РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРЕВІРКИ ЗНАЧИМОСТІ ЕФЕКТІВ ВЗАЄМОДІЇ ДЛЯ ТРИВИМІРНИХ ТАБЛИЦЬ СПРЯЖЕНОСТІ

Фактор *C*	Ефект взаємодії AB		Ефект взаємодії AC		Ефект взаємодії BC		Ефект взаємодії ABC	
	$Дч^2_{інф}$	*p*-значення	$Дч^2_{інф}$	*p*-значення	$Дч^2_{інф}$	*p*-значення	$Дч^2_{інф}$	*p*-значення
*X*2	43,8	0,000	5,1	0,024	0,5	0,481	1,5	0,222
*X*3	36,0	0,000	2,7	0,099	5,0	0,025	0,1	0,762
*X*4	43,0	0,000	0,0	0,910	2,0	0,157	0,0	0,856

Закінчення табл. 8

Фактор *C*	Ефект взаємодії AB		Ефект взаємодії AC		Ефект взаємодії BC		Ефект взаємодії ABC	
	$Дч^2_{інф}$	*p*-значення	$Дч^2_{інф}$	*p*-значення	$Дч^2_{інф}$	*p*-значення	$Дч^2_{інф}$	*p*-значення
*X*5	43,9	0,000	1,3	0,256	0,3	0,577	4,6	0,033
*X*6	43,4	0,000	0,5	0,493	0,0	0,994	3,6	0,056
*X*7	39,5	0,000	0,3	0,558	5,3	0,021	0,2	0,675
*X*8	39,2	0,000	3,0	0,085	1,4	0,229	0,3	0,568
*X*9	43,2	0,000	0,0	0,914	1,4	0,233	0,7	0,419
*X*10	44,9	0,000	3,6	0,057	1,4	0,234	0,1	0,742
*X*11	42,8	0,000	1,6	0,206	0,0	0,943	0,1	0,707

Ефекти взаємодії першого порядку факторів *A* і *B*, *A* і *C* та *B* і *C* перевірялись шляхом порівняння моделі 1 умовної незалежності та відповідно моделей 2, 3 і 4 з двома парними зв'язками (див. табл. 7). Ефект взаємодії другого порядку факторів *A*, *B* і *C* оцінювався на основі порівняння насиченої моделі та моделі 1 умовної незалежності (див. табл. 7).

Ще раз наголосимо, що нас цікавила у першу чергу взаємодія розглядуваних факторів з фактором *X*12 (отримання фінансування). Аналіз результатів, наведених у табл. 8, показує, що для всіх розглянутих трійок предикторів є значимим ефект взаємодії предикторів *X*1 і *X*12 першого порядку (рівень значимості менший за 1 %). Крім того для трійок предикторів (*X*1, *X*2, *X*12), (*X*1, *X*8, *X*12) та (*X*1, *X*10, *X*12) виявився значимим ефект взаємодії предикторів *X*2 і *X*12 (на рівні значимості, меншим за 5 %) та *X*8 і *X*12, *X*10 і *X*12 (на рівні значимості, меншим за 10 %). Тобто для фіксованих категорій фактора «досвід фінансування» отримання фінансування більш імовірно для стартапів, які або орієнтовані на отримання прибутку, або мають сайт і присутні у соціальних мережах, або якщо сферою їх діяльності є одна з таких: реклама, маркетинг чи ритейл. Для вказаних трійок предикторів ефекти взаємодії другого порядку є незначимими, тому оптимальною моделлю у цьому разі є модель 2 (табл. 7) з двома парними зв'язками, оцінки параметрів якої наведено у табл. 9. У табл. 9 наведено також експоненти подвійних значень параметрів, які можна розглядати як оцінки переважання. Аналіз експонент показує, що згідно побудованих лог-лінійних моделей для трійок

предикторів (*X*1, *X*2, *X*12), (*X*1, *X*8, *X*12) та (*X*1, *X*10, *X*12) шанс отримати фінансування відноситься до шансу не отримати фінансування, як 4,27 до 1 за умови наявності досвіду фінансування.

Таблиця 9

ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ЛОГ-ЛІНІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТРИВИМІРНИХ ТАБЛИЦЬ СПРЯЖЕНОСТІ

Параметр	Значення параметрів моделей						Експоненти подвійних значень параметрів моделі					
	Фактор *C*						Фактор *C*					
	*X*2	*X*3	*X*5	*X*6	*X*8	*X*10	*X*2	*X*3	*X*5	*X*6	*X*8	*X*10
u_0	2,32	2,48	2,41	2,43	2,49	2,31	104	141	123	129	146	102
u_1^a	0,91	0,80	0,89	0,72	0,81	0,63	6,16	4,96	5,97	4,21	5,07	3,55
u_1^b	0,01	0,07	-0,14	0,03	0,01	0,01	1,03	1,16	0,76	1,06	1,03	1,03
u_1^c	-0,67	-0,28	0,24	0,40	-0,24	0,71	0,26	0,57	1,62	2,21	0,62	4,15
u_{11}^{ab}	0,73	0,68	0,87	0,65	0,73	0,73	4,27	3,92	5,72	3,70	4,27	4,27
u_{11}^{ac}	0,28	0,21	-0,32	0,17	0,29	0,18	1,76	1,52	0,53	1,39	1,77	1,44
u_{11}^{bc}		0,23	0,30	-0,14			1,00	1,58	1,82	0,75	1,00	1,00
u_{111}^{abc}			-0,34	0,26			1,00	1,00	0,51	1,67	1,00	1,00

Крім того можемо бачити, що для трійки предикторів (*X*1, *X*2, *X*12) шанс отримати фінансування відноситься до шансу не отримати фінансування, як 1,76 до 1 за умови бізнес-орієнтації стартапу; для трійки предикторів (*X*1, *X*8, *X*12) — як 1,77 до 1 за умови наявності сайту та присутності у соціальних мережах; для трійки предикторів (*X*1, *X*10, *X*12) — як 1,44 до 1, якщо сфера діяльності стартапу — це реклама, маркетинг або ритейл.

Як бачимо з табл. 8, для трійки предикторів *X*1, *X*3, *X*12 значимими є усі три ефекти взаємодії першого порядку, а ефект взаємодії другого порядку є не значимим, тому оптимальною моделлю для даної трійки предикторів буде модель 1 умовної незалежності (табл. 7). Оцінки параметрів цієї моделі наведені у табл. 9. Згідно знайденої оцінки переважання для ефекту кон'юнкції предикторів *X*12 і *X*3 відношення шансу отримати фінансування до шансу його не отримати за умови створення стартапу до 2014 року дорівнює 1,52.

Слід зазначити, що ефекти взаємодії факторів, виявлені на основі двовимірних таблиць спряженості, дещо відрізняються від ефектів, виявлених на основі тривимірних таблиць. Це стосується фактору $X7$ (наявність патенту), ефект взаємодії якого з показником отримання фінансування був значимим у двовимірному випадку, а у тривимірному — вже не значимим, проте у цьому разі виявився значимим ефект взаємодії факторів $X7$ і $X1$. Також це стосується взаємодії факторів $X10$ і $X12$, ефект якої у тривимірному випадку на відміну від двовимірного є значимим. Причина наявних відмінностей полягає в тому, що двовимірні таблиці частот не дозволяють враховувати впливи інших факторів.

Звернемо ще увагу на те, що для двох розглядуваних трійок предикторів ($X1$, $X5$, $X12$) і ($X1$, $X6$, $X12$) виявилась значимою трьохфакторна взаємодія, тобто у цьому випадку отримання фінансування залежить від спільної дії двох факторів: наявність досвіду фінансування та бізнес-орієнтація. Водночас кон'юнкція таких предикторів як наявність досвіду фінансування та орієнтація діяльності на кінцевого споживача впливають на отримання фінансування негативно.

Висновки. Отже, як результат було побудовано лог-лінійні моделі, які дозволяють зрозуміти, які предиктори впливають на інвестиційний успіх і невдачу українського стартапу. У ході дослідження було використано як двовимірні, так тривимірні таблиці спряженості для моделювання інвестиційного успіху стартапу.

Результатом реалізації лог-лінійного аналізу з двовимірними таблицями спряженості є розуміння, що шанси скоріше отримати фінансування вище для стартапів, в яких наявна якась з ознак: досвід фінансування; орієнтація стартапу на отримання прибутку; наявність сайту та присутність у соціальних мережах. Найкращий вплив на інвестиційний успіх стартапу у результаті формування тривимірних таблиць спряженості, за умови наявності у всіх досвіду фінансування, дали бізнес-орієнтація, наявність сайту та присутність у соціальних мережах, та реклама, маркетинг чи ритейл як сфери їх діяльності.

Розроблена методологія аналізу може бути розширена, за рахунок включення до переліку компаній, що аналізуються, іноземних стартапів. Також, нові відкриття можливі у разі розширення переліку параметрів, які характеризують стартап-компанію. Це принесе користь нинішнім і майбутнім підприємцям, а також безлічі інших зацікавлених сторін, інвесторам, установам, спільнотам і суспільству загалом.

Бібліографічні посилання

1. Аптон Г. Анализ таблиц сопряженности. М.: Финансы и статистика, 1982. 143 с.

3. Трошин Л.И., Балаш В.А., Балаш О.С. Статистический анализ нечисловой информации. Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. М., 2001. 67 с.

2. Фомина Е.Е. Возможности логлинейного анализа при обработке результатов анкетирования. *Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки*. 2018. № 3. С. 197-208.

3. Angerer, M., Brem, A., Kraus, S., & Peter, A. (2017). Start-up funding via equity crowdfunding in Germany: A qualitative analysis of success factors. *The Journal of Entrepreneurial Finance (JEF)*. 19(1). P. 1-34.

4. Bento, F. R. D. S. R. (2018). Predicting start-up success with machine learning (Doctoral dissertation).

5. Cardoso, D. M. M. M. G. (2020). StartUps success: the critical factors for startups success in Visegrad Group (Doctoral dissertation).

6. Camelo Martines, D. (2019). Startup Success Prediction in the Dutch Startup Ecosystem.

7. Cheng, C., Tan, F., Hou, X., & Wei, Z. (2019, August). Success Prediction on Crowdfunding with Multimodal Deep Learning. In IJCAI (P. 2158-2164).

8. Dellermann, D., Lipusch, N., Ebel, P., Popp, K. M., & Leimeister, J. M. (2017). Finding the unicorn: Predicting early stage startup success through a hybrid intelligence method.

9. Gunawardana, K. D. (2020). Success Factors of the Implementation of Crowdfunding for Start-Ups. *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development (IJSKD)*, 12(4), P. 89-105.

10. Hai, H., Xuan, N., Thao, T., & Hien, P. (2021). The effects of strategy and market orientation on the performance of Vietnamese startups. *Management Science Letters*. 11(4). P. 1357-1366.

11. Kaminski, J. C., & Hopp, C. (2020). Predicting outcomes in crowdfunding campaigns with textual, visual, and linguistic signals. *Small Business Economics*. 55(3). P. 627-649.

12. Kim, B., Kim, H., & Jeon, Y. (2018). Critical success factors of a design startup business. *Sustainability*. 10(9). P. 2981.

13. Unal, C. (2019). Searching for a unicorn: A machine learning approach towards startup success prediction

14. Yeh, J. Y., & Chen, C. H. (2020). A machine learning approach to predict the success of crowdfunding fintech project. Journal of Enterprise Information Management.

15. Zhang, Q., Ye, T., Essaidi, M., Agarwal, S., Liu, V., & Loo, B. T. (2017, November). Predicting startup crowdfunding success through longitudinal social engagement analysis. In Proceedings of the 2017 ACM on Conference on Information and Knowledge Management (P. 1937-1946).

Статтю подано до редакції 09.11.2021

УДК 658.012.8 DOI 10.33111/mise.101.12

Труш М.С., к. е. н.,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Труш О.В., к. т. н., доцент,
доцент кафедри мережевих та інтернет технологій,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Радзівілов Г.Д., к. т. н., доцент,
заступник начальника Інституту з наукової роботи,
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації
імені Героїв Крут
Толюпа С.В., д. т. н., професор,
професор кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана».

Trush M.S., Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor of the Department of Computer Mathematics
and Informatics Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Trush O.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of networking
and Internet Technologies,
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Radzivilov G.D., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Deputy Head of the Institute on scientific issues,
Kruty Heroes Military Institute of Telecommunications and Informatization
Toliupa S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Computer Mathematics
and Informatics Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman

МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВА

MANAGEMENT MECHANISM OF THE ECONOMIC SECURITY SYSTEM OF THE ENTERPRISE

Анотація. *У статті розглянуто феномен економічної безпеки підприємства. Розкрито зміст категорії «економічна безпека». Узагальнено погляди науковців щодо її розуміння та систематизовано різні термінологічні інтерпретації. Реконструйовано поняття економічної безпеки в різних теоретичних підходах щодо розуміння видових і типологічних особливостей економічної безпеки. Виявлено сутнісні ознаки економічної безпеки та її змістовні, структурно-функціональні й типологічні характеристики. Здійснено гносеологічну рефлексію існуючих концепцій і теоретичних підходів до управління системою економічної безпеки сучасного підприємства. Встановлено, що поєднання зазначених підходів може виявитись ефективним чинником управління системою економічної безпеки сучасного підприємства. Метою статті є розробка рекомендацій щодо вдосконалення механізму управління системою економічної безпеки підприємства*

© М. С. Труш, О. В. Труш,
Г. Д. Радзівілов, С. В. Толюпа, 2021

для підвищення рівня його конкурентоспроможності в умовах нестабільності. Матеріали статті носять науково-методичний характер. Надійний механізм управління економічною безпекою підприємства можливий лише за умови використання системного підходу, який надає можливість оцінити перспективи розвитку та конкурентоспроможності підприємства, розробити тактику і стратегію зменшення ризиків і небезпек, усунення загроз та негативних впливів.
Ключові слова: *система економічної безпеки підприємства, складові системи економічної безпеки підприємства, механізм управління системою економічної безпеки підприємства за умов нестабільності.*

Abstract. *The article deals with the phenomenon of economic security of the enterprise. The content of the category "economic security" has been disclosed. The views of various scholars about its understanding has been generalized and various theoretical interpretations has been systematized. The concept of economic security has been reconstructed in various theoretical approaches to understanding the specific and typological features of economic security. The essential features of economic security and its substantive, structural-functional and typological characteristics has been revealed. An epistemological reflection of the existing concepts and theoretical approaches to management of system of economic security of the modern enterprise has been carried out. It has been established that the combination of these approaches can be an effective factor in managing the economic security system of a modern enterprise. The mechanism of management of the economic security of the enterprise must ensure the timely detection of various hazards, forecasting their consequences, determining methods of collecting and providing information to the management center, which decides on further actions of the enterprise. The purpose of the article is to develop recommendations for improving the management of the economic security of the enterprise to increase its competitiveness in conditions of instability. A reliable mechanism for managing the economic security of the enterprise is possible only if you use a systematic approach that allows you to assess the prospects of development and competitiveness of the enterprise, develop tactics and strategies to reduce risks and dangers, eliminate threats and negative impacts.*
Keywords: *the system of economic security of the enterprise, the components of the system of economic security of the enterprise, the mechanism for managing the system of economic security of the enterprise in conditions of instability.*

Вступ. Розвиток інформаційного суспільства супроводжується цілою низкою глобалізаційних та інтеграційних зрушень у світі, які викликають стрімкі й динамічні зміни у різних сферах суспільного життя. Глобалізаційні процеси інтегрують сьогодні економіку, політику, культуру різних регіонів і країн. В умовах складного перебігу модернізації і суспільних трансформацій, формування ринкових відносин, жорсткої конкурентної боротьби за світове лідерство, сучасні підприємства змушені постійно еволюціонувати та вчасно реагувати на зміни в соціально-економічних процесах.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Зазначені проблеми зумовлюють потребу в пошуку оптимальних механізмів управління підприємством для швидкої та ефективної реакції на глобальні виклики сьогодення. Це вимагає, у свою чергу, вибору адекватного інструментарію управління, що має бути спрямова-

ний на підвищення конкурентоздатності підприємства. Варто зауважити, що діяльність сучасних підприємств нерідко пов'язана з великими ризиками, небезпеками й загрозами, а гарантування безпеки в економічній сфері має свої специфічні особливості. Тому саме системний підхід до управління підприємством і його безпеки може стати запорукою його конкурентоспроможності та успіху. Проте, дуже важливо розуміти, що сьогодні вже недостатньо керуватись лише технічними, або лише економічними критеріями, оскільки результативність діяльності підприємств у добу крос-культурної кооперації, боротьби за доступ до ресурсів, швидкого обміну інформацією в суспільстві, залежить, насамперед, від рівня їх захищеності та економічної безпеки.

Отже, **актуальність досліджуваної теми** полягає у тому, що питання економічної безпеки останнім часом набуває особливої значущості, привертаючи до себе увагу як науковців-теоретиків, так і практиків у різних галузях знань.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Виникнення принципово нових проблем у діяльності вітчизняних підприємств, пов'язаних з недосконалістю механізмів управління системою економічної безпеки підприємств, висуває необхідність теоретичного обґрунтування та розробки практичних рекомендацій щодо їх вирішення з метою підвищення ефективності роботи сучасних підприємств. Таким чином, можна констатувати наявність важливої наукової проблеми, яка полягає в подоланні, з одного боку, гносеологічної суперечності між існуючим різноманіттям теоретичних інтерпретацій економічної безпеки стосовно її місця та ролі в системі управління, а з іншого боку — в потребі розробки чітких концептуальних імперативів щодо формування та відтворення системи економічної безпеки як механізму ефективного управління сучасним підприємством.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробці питань щодо підтримки достатнього рівня економічної безпеки підприємства багато уваги приділяють вітчизняні та зарубіжні науковці, зокрема: Л. Абалкін, В. Абрамов, В. Андрійчук, О. Ареф'єва, О. Барановський, О. Білорус, А. Бойкевич, З. Варналій, Т. Васильців, О. Власюк, В. Воротін, Я. Гончарук, В. Горбулін, В. Дикань, М. Єрмошенко, Я. Жаліло, О. Захаров, Г. Клейнер, Н. Куркін, О. Ляшенко, В. Мунтіян, Є. Олєйніков, В. Ортинський, Г. Пастернак-Таранушенко, В. Пономаренко, Н. Реверчук, В. Тамбовцев, М. Флейчук, В. Франчук, О. Черняк, М. Швець, В. Щелкунов, Л. Шемаєва, С. Шкарлет, В. Шликов, О. Шляйфер та ін.

Метою статті є розкриття принципів формування механізму управління системою економічної безпеки підприємства, а також розробка рекомендацій щодо його вдосконалення з метою підвищення рівня конкурентоспроможності підприємства в умовах нестабільності.

Виклад основного матеріалу. Безпека є однією з найважливіших умов життєдіяльності людини і суспільства. У найпоширенішому сенсі безпеку розглядають як певний об'єктивний стан, в якому людині, групі людей, спільноті, суспільству загалом, їх життю і діяльності нічого не загрожує, тобто відсутні або є незначними (такими, на які можна не звертати уваги) загрози. Саме тому в більшості визначень зміст поняття «безпека» розглядається як стан, за якого об'єкт перебуває захищеним за відсутності небезпек, що загрожують його існуванню, функціонуванню та розвитку. Поняття «безпека» розглядається в парі зі своїм антиномом — поняттям «небезпека». Небезпека — це ймовірність деякого негативного впливу на діяльність підприємства, через який певні процеси функціонування інших об'єктів можуть негативно вплинути на діяльність підприємства аж до припинення його існування. Поняття «безпека» і «небезпека» — різновекторні, але взаємопов'язані: збільшення небезпеки безпосередньо завжди зумовлює зменшення безпеки. Ці поняття все частіше вживаються стосовно сучасних підприємств: поки безпека відсутня, тобто підприємство перебуває у небезпеці, не можна говорити про його життєдіяльність і розвиток. За відсутності безпеки, тобто за наявності небезпек, підприємство змушено постійно захищати свої інтереси, майно та інші об'єкти і тоді вже на діяльність та розвиток у нього не залишається на ресурсів, ні часу.

Поняття «безпека підприємства» є дуже широким, тобто родовим, оскільки в ньому узагальнено різні види безпеки. Видовими поняттями родового поняття «безпека» стосовно підприємства виступають його економічна, екологічна, фінансова, технологічна, інформаційна безпека. Серед видових понять безпеки підприємства важливе місце належить його економічній безпеці. Незважаючи на зрозумілу на перший погляд змістовну характеристику поняття економічної безпеки підприємства у вітчизняній та іноземній літературі, існує значна кількість його дефініцій, що свідчить про складність і багатогранність його ідентифікації. Науковці трактують поняття економічної безпеки підприємства:

- як стан найефективнішого використання ресурсів підприємства;

- як міру гармонізації інтересів підприємства у часі та просторі;
- як стан захищеності підприємства від зовнішніх і внутрішніх загроз;
- як стан системи взаємодії підприємства з суб'єктами внутрішнього й зовнішнього середовища, в якій підприємство спільно з інституціями держави з використанням власних ресурсів спроможне виявляти загрози його діяльності, уникати їх, нівелювати їх вплив, пом'якшувати або долати наслідки реалізації загроз [1].

Усе це підтверджує відсутність чіткої, домінуючої позиції та єдиного наукового підходу щодо розуміння поняття «економічна безпека підприємства».

Система економічної безпеки підприємства — концептуальна категорія, що визначає стратегічну основу в управлінні загрозами і являє собою сукупність об'єктів, суб'єктів, функціональних компонентів, методів і дій (процесів, процедур) забезпечення економічної безпеки, які використовуються підприємством, щоб повністю забезпечити власну безпеку.

Фундаментальною основою ефективної системи економічної безпеки підприємства є [2]:

- теорія безпеки та безпекологія (що поєднує узгодженість експленарного, теоретичного та методологічного базисів),
- визначена політика економічної безпеки підприємства (мета, цілі, завдання, функції, принципи, організація власної служби безпеки),
- стратегія безпеки (види стратегій, система цілей, тактика і оперативне реагування на події),
- концепція ЕБП (загальні положення діяльності із забезпечення ЕБП).

Зазначену систему можна схематично зобразити як структуру, здатну забезпечувати захищеність підприємства від негативних впливів середовища (рис. 1) [2].

Основною метою створення системи економічної безпеки підприємства є забезпечення поточної ефективної діяльності та забезпечення подальшого сталого розвитку підприємства шляхом своєчасного виявлення, мінімізації та попередження внутрішніх і зовнішніх викликів, небезпек, загроз, ризиків.

Досягнення зазначеної мети можливе за рахунок досягнення функціональних цілей системи економічної безпеки підприємства [3].

За об'єктно-суб'єктним підходом структура системи економічної безпеки підприємства становить собою сукупність об'єктів,

суб'єктів і способів їх захисту, зв'язки та відносини між якими визначаються виконуваними системою функціями та режимом функціонування системи.

Рис. 1. Трактування системи економічної безпеки підприємства

Об'єктом захисту системи економічної безпеки підприємства в цілому виступає стійкий економічний стан його діяльності в поточному та перспективному періодах — як керована підсистема. Тобто, все, на що спрямовуються зусилля діяльності з гарантування економічної безпеки, фактично, є об'єктом захисту (керованою підсистемою).

Об'єкти захисту в системі економічної безпеки підприємства конкретизуються за: видами ресурсів, які можуть бути інтелектуальними, комунікаційними, інформаційними, організаційними, управлінськими, кадровими, фінансовими, матеріальними, технологічними; а також — за видами діяльності й показниками, які планується підвищити для убезпечення діяльності підприємства (наприклад, фінансово-економічними, виробничими і т. ін.).

Суб'єктом системи економічної безпеки підприємства виступає керуюча підсистема, діяльність якої характеризується доста-

тньо складною специфікою. Зміст діяльності суб'єкта в системі економічної безпеки підприємства складається з визначення, планування, організації й координації різноманітних заходів, спрямованих на захист об'єкта, який перебуває у сфері його відповідальності.

Специфіка діяльності суб'єкта захисту в системі економічної безпеки підприємства залежить від особливостей і характеристик об'єкта захисту та оточуючих умов, тобто зазнає впливу внутрішнього й зовнішнього середовища.

Тому можна виокремити дві групи суб'єктів захисту в системі економічної безпеки підприємства — внутрішні та зовнішні. Внутрішніми суб'єктами є посадові особи — фахівці, які безпосередньо долучені до здійснення захисту економічної діяльності підприємства. Зовнішніми суб'єктами є суб'єкти інституційного середовища діяльності підприємства, які забезпечують захист відповідного об'єкта. До них належать органи законодавчої, виконавчої та судової влади, які покликані забезпечувати безпеку всіх без винятку законослухняних учасників підприємницьких відносин в соціумі.

Суб'єкти, які забезпечують економічну безпеку підприємства, здійснюють свою діяльність на основі короткотермінових та довготермінових підходів до досягнення мети — певних тактик і стратегій. Для забезпечення економічної безпеки підприємства застосовують функціональні стратегії безпеки, що базуються на превентивних і реактивних заходах діяльності. Превентивні заходи реалізуються через регулярну, безперервну роботу всіх підрозділів з перевірки контрагентів, аналізу передбачуваних угод, експертизи документів, виконання правил роботи з конфіденційною інформацією тощо. Реактивні заходи передбачають застосування ситуаційного підходу в разі реального виникнення будь-яких загроз економічній безпеці підприємства та реалізуються службою безпеки через систему заходів, специфічних для даної ситуації, з урахуванням всіх зовнішніх і внутрішніх чинників.

Способи захисту як елементи структури системи економічної безпеки підприємства — це дії або система дій, які застосовуються для убезпечення об'єкта безпеки або його використання, якщо є велика ймовірність реалізації реальної загрози об'єкту, або через реалізацію загрози розпочались зміни негативного характеру в об'єкті захисту.

Наразі в економічній безпекології ключові позиції посідає захисний підхід, де імперативним поняттям до пояснення феномена

економічної безпеки підприємства виступає поняття «загроза» як процес, що відбувається у зовнішньому чи внутрішньому середовищі діяльності підприємства та може за наявності певних умов негативно вплинути на підприємство.

Внутрішні загрози — це загрози, які залежать від діяльності вашого власного підприємства. До них належать: дії чи бездіяльність працівників, які суперечать інтересам комерційної діяльності підприємства; низький рівень кваліфікації персоналу; поганий маркетинговий аналіз ринку; порушення правил користування технічним обладнанням; підрив ділового іміджу підприємства; неконкурентна цінова політика; невизначеність цілей і бізнес-стратегій.

Існують три головних зовнішніх джерела загрози для підприємства. На думку З. С. Варналія: «Загроза — це сукупність умов і факторів, які створюють небезпеку для реалізації економічних інтересів, що в свою чергу може створювати різноманітні ризики. Отже, перша загроза — несприятлива економічна політика держави. Так, держава може суперечити виробничій, комерційній або фінансовій стратегії підприємства за допомогою різних методів, серед яких найпоширенішими є: зміна ставок митного тарифу, податкових ставок, коливання валютного курсу тощо. Іншу серйозну загрозу для підприємства із боку держави представляють певні дії зі згортання чи обмеження економічних зв'язків. Економічні санкції, з боку держави, мають досить негативний вплив і призводять до взаємної недовіри, дестабілізують безпеку в галузі економіки на міждержавному рівні» [4].

Ще одним головним джерелом зовнішньої загрози для підприємства є дії інших суб'єктів господарювання, так звана несумлінна конкуренція. Підприємства-конкуренти застосовують безліч методів, які здатні негативно вплинути на діяльність і безпеку підприємства, до яких належать: порушення прав конкурентів на промислову власність (несанкціоноване копіювання продукції конкурента, промислове шпигунство, розкриття секретів виробництва конкурента); дезорганізація виробництва конкурентів, яка здійснюється шляхом підкупу та заманювання їх робітників і службовців з метою заволодіння секретами виробництва й торгівлі; підривання репутації конкурента (невідповідна реклама, поширення хибних і неправдивих зведень, що дискредитують підприємство) та інші, такі як демпінг, бойкот тощо.

Третє джерело — кризові явища у світовій економіці, оскільки вони надходять від країни до країни через канали зовнішньоекономічних зв'язків. Такі явища, як реструктуризація, падіння попиту та цін на енергоносії, породжують залежність вітчизняних підприємств від глобальних процесів, що відбуваються у світі.

До інших зовнішніх загроз можна віднести: рівень інфляції, брак коштів для інвестування підприємства, законодавча нестабільність, корупція, несприятливі макроекономічні умови (криза, війна, загальноекономічна ситуація в країні). Основні шляхи запобігання загрозам економічній безпеці підприємства наведено на рис. 2.

Рис. 2. Основні шляхи запобігання загрозам економічній безпеці підприємства

У структурі механізму управління економічною безпекою підприємства доцільно виділити наступні функціональні складові: таку, що здійснює превентивно-регулюючий вплив, та складову антикризового управління. Відповідно до такого підходу можна виділити мету, завдання, методи та функції зазначеного механізму [5; 6, с. 10].

Превентивно-управлінська складова механізму управління економічною безпекою підприємства визначає сутність і принципи організаційно-технічних методів запобігання кризових станів об'єктів управління. Вона характеризується упереджувано-регулюючим впливом на процеси управління стратегічним розвитком підприємства, а також допомагає аналізувати, прогнозувати і планувати необхідні зміни та забезпечувати оперативне реагування щодо них.

Антикризова складова механізму управління економічною безпекою підприємства забезпечує реалізацію його якісних детермінант, що сприяють недопущенню виникнення несприятливого кризового стану керованого об'єкта шляхом швидкого скорочення втрат і миттєвого реагування на загрозливі події, несприятливі зміни та будь-які інші виклики оточуючого середовища.

Варто зауважити, що антикризовий чинник притаманний будь-якому механізму управління. Технології управління на основі антикризових чинників характеризуються певними специфічними параметрами: системним, соціально-психологічним і програмно-цільовим підходами до процесів розробки та реалізації управлінських рішень; динамічністю використання ресурсів, мобільністю та посиленням чинників часу в процесі управління; використанням алгоритмів і математичних методів оцінки ризиків щодо ймовірності настання кризового стану керованого об'єкта, оцінки ефективності методів зниження ризиків, оцінки наслідків щодо прийняття управлінських рішень і т. ін.

Структурування механізму управління системою економічної безпеки підприємства доцільно здійснювати на основі таких підходів: еволюційного, системного, ресурсного, функціонального.

Так, еволюційний підхід передбачає ретельну методичну підготовку та поступове розширення життєвого простору підприємства.

Системний підхід ґрунтується на захищеності підприємства від ризиків, ефективності його функціонування і розвитку на засадах безпеки та життєвого циклу функціонування підприємства.

Ресурсний підхід визначає безпеку підприємства рівнем забезпеченості ресурсами його функціональних складових (соціальної, політико-правової, інформаційної, техніко-технологічної, екологічної, фінансової і т. ін.), що є достатньо важливою

вимогою забезпечення стабільності діяльності підприємства. Проте, необхідно не лише забезпечити всі ланки необхідними ресурсами, а й домогтися їх ефективного використання, без чого підприємство не зможе здійснювати ні просте відтворення (тобто збереження поточної вартості всіх активів підприємства), ні розширене. А за відсутності відтворення будь-яка діяльність з часом може зупинитись. Тому ресурсний підхід пропонується доповнювати функціональним.

Функціональний підхід визначає стан захищеності підприємства від зовнішніх і внутрішніх загроз і його спроможність функціонувати в мінливих ринкових умовах; а також пропонує застосування методу адаптації (або вичікування) для формування здатності підприємства адаптуватись до існуючих умов, які не здійснюють негативного впливу на його діяльність [7].

Використання зазначених підходів дозволить: розпізнавати загрози економічній безпеці підприємства; визначати напрями й обставини запобіжної діяльності, здійснювати агресивний наступ (реалізовувати контрзагрози.)

Схему функціонування механізму управління в системі економічної безпеки підприємства висвітлено на рис. 3.

Служба економічної безпеки підприємства здійснює управління на стратегічному, тактичному та оперативному рівнях. Першочергово керівництво підприємства визначає стратегічні цілі щодо управління економічною безпекою підприємства, на основі яких обирається базова стратегія управління. Після цього визначається мета створення нового функціонального підрозділу — служби безпеки підприємства. Зазначена служба, у свою чергу, залучає, за необхідністю, існуючі на підприємстві відділи до виконання головних функцій.

Запровадження системи моніторингу забезпечує дієвість запропонованого механізму економічної безпеки підприємства. Це дає можливість:

- забезпечення своєчасною і достовірною інформацією про економічний стан;
- проведення діагностики небезпечних ситуацій у діяльності підприємства для їх швидкого й ефективного попередження, локалізації та ліквідації;
- формулювання ключових показників ефективності управління підприємством;
- забезпечення неперервної роботи всіх підрозділів підприємства (рис. 4) [5].

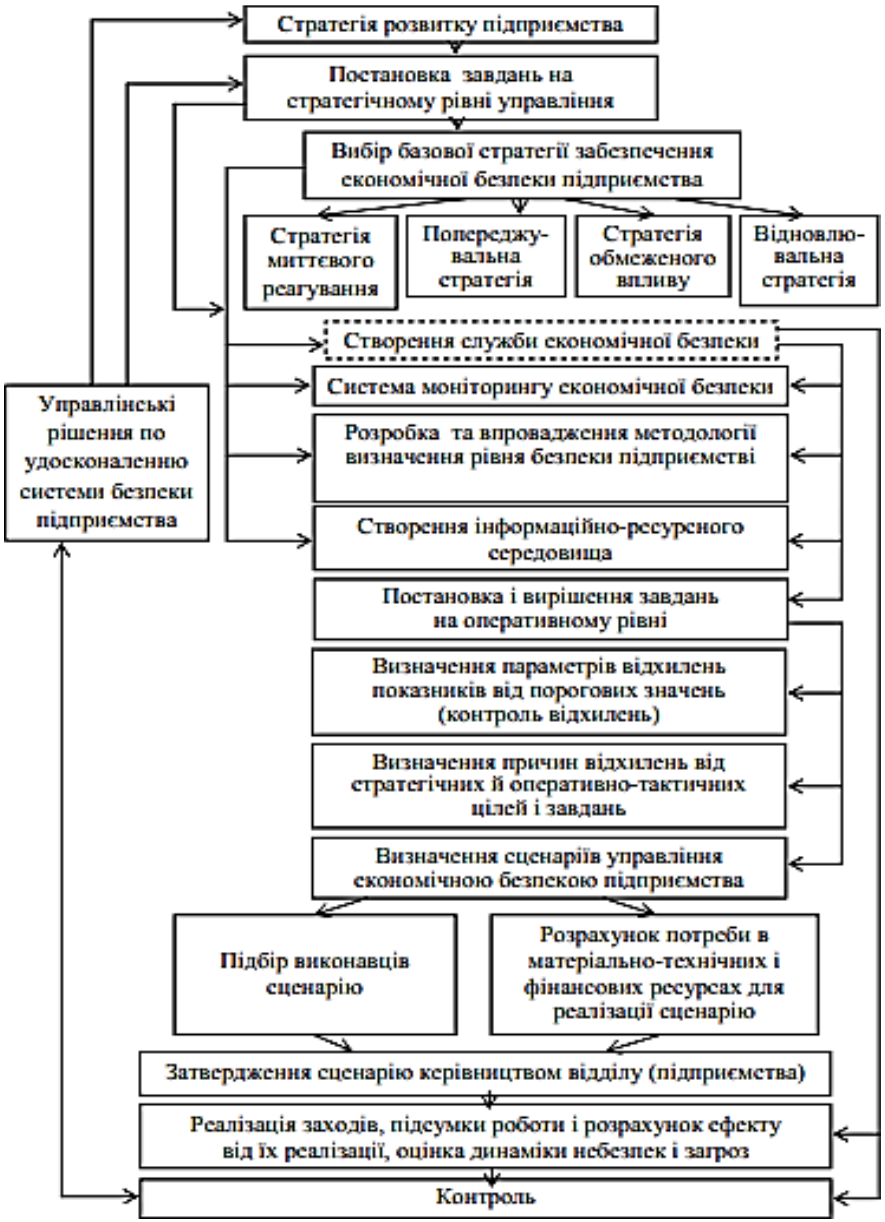


Рис. 3. Схема функціонування механізму управління в системі економічної безпеки підприємства

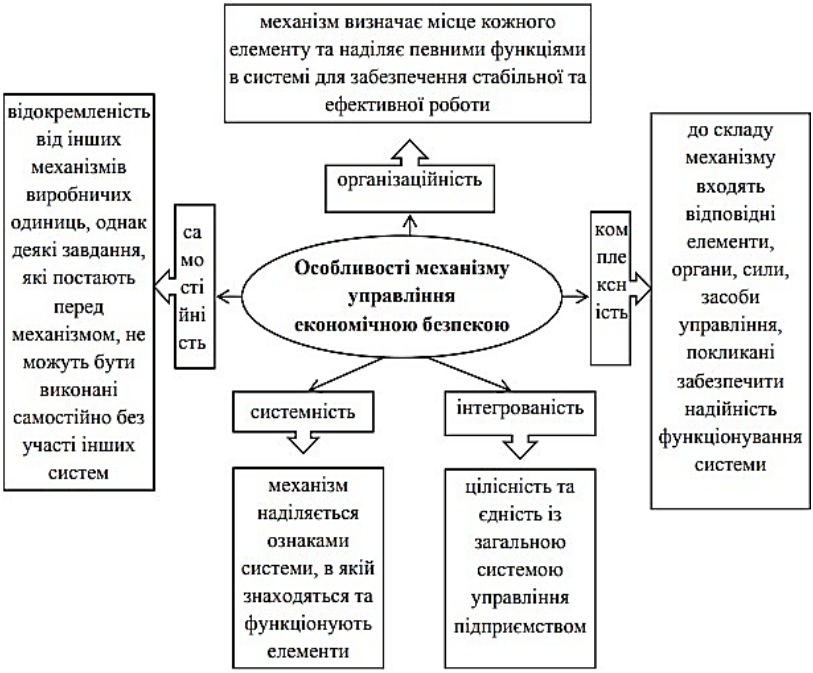


Рис. 4. Особливості механізму управління економічною безпекою

У науковій літературі існує багато різних думок щодо основних складових механізму управління, серед яких виділяють: сукупність фінансових інтересів, стимулів, важелів, інструментів, форм і засобів регулювання економічних процесів і відносин.

Механізм управління системою економічної безпеки підприємства повинен забезпечувати своєчасне виявлення різноманітних небезпек, прогнозування їх наслідків, визначення методів збирання та надання інформації до керуючого центру, який приймає рішення щодо подальших дій підприємства.

Розглянемо сучасний концепційний підхід у вигляді алгоритму, який має шість етапів і дозволяє всебічно оцінити економічну безпеку підприємств за допомогою комплексного показника [8]:

- на першому етапі визначаються джерела небезпеки та інформаційна база для проведення дослідження;
- на другому етапі серед показників, які характеризують господарську діяльність підприємства, визначаються індикатори, які стосуються безпеки підприємства, а також порядок їх обчис-

лення. Дані показники систематизуються за функціональними складовими економічної безпеки підприємства;

- на третьому етапі граничні значення показників економічної безпеки підприємств порівнюються з фактичними значеннями. Для економічної безпеки підприємства дуже важливі не стільки самі показники, як їхні граничні значення. За допомогою граничних значень визначаються рівні безпеки. В економічній літературі пропонується розподіл на рівні: абсолютно безпечний, безпечний, достатньо безпечний, небезпечний. Від правильності встановлених порогових значень показників залежить значення комплексного показника безпеки;
- на четвертому етапі розробляється порівняльна форма в балах, яка дозволяє порівняти значення різних показників. Ця порівняльна форма дозволяє оцінити показники економічної безпеки, які змінюються в діапазоні від 0 до 1.

Тобто, розглядаючи підприємства з погляду економічної безпеки, їх можна класифікувати за 4-ма групами:

- повністю безпечні, де основна характеристика дорівнює 1;
- безпечні — 0,8–0,9;
- достатньо безпечні — 0,5–0,7;
- небезпечні — 0–0,4.

Коли коливання розміру відхилення розглянути від 0 до 100 %, то для кожних 10 % відхилення бальна оцінка знижується на 0,1 бали. Якщо розмір коливання більше граничного, то даний показник дорівнює 0 балів;

- на п’ятому етапі перетворюємо бальні показники у відносні оцінки кожної зі складових економічної безпеки за формулою:

$$S_{\text{і}} = \frac{1}{N_i} n_i \ , \qquad (1)$$

де S_i — відносні оцінки *i*-тої складової економічної безпеки підприємства;

N_i — кількість рівнів складової економічної безпеки;

n_i — номер рівня *i*-тої складової, рахуючи від найбільш несприятливого з них включно.

По кожній складовій розраховується бал у діапазоні від 0 до 1 та визначаються вагомості f_i для кожної складової економічної безпеки.

На останньому етапі враховується значимість функціональних складових безпеки та розраховується інтегральна оцінка економічної безпеки як середньозважена складових за формулою:

$$ЗЕБ = fi\ 1 \times Si1 + fi\ 2 \times Si\ 2 \ldots + fin \times Sin\ , \qquad (2),$$

де f_n — коефіцієнт вагомості для кожного критерію;

S_{in} — відносна оцінка кожного з критеріїв забезпечення економічної безпеки. Чим вона буде ближче до одиниці, тим вище рівень економічної безпеки [5].

Висновки. У статті здійснено аналіз теоретичних положень щодо пошуку оптимальних механізмів управління підприємством з метою оперативного й ефективного реагування на глобальні виклики сьогодення. Здатність до оперативного реагування на будь-які зміни внутрішнього і зовнішнього середовища формується шляхом створення (або вдосконалення наявного) механізму управління економічною безпекою, що надає підприємству конкурентних переваг для досягнення визначених цілей. Проте, необхідно зазначити, що діяльність сучасних підприємств часто пов'язана з ризиками, загрозами і небезпеками, а гарантування безпеки в економічній сфері має свої специфічні особливості. Надійний механізм управління економічною безпекою підприємства можливий лише за умови використання системного підходу, який надає можливість оцінити перспективи розвитку та конкурентоспроможності підприємства, розробити тактику і стратегію зменшення ризиків і небезпек, усунення загроз та негативних впливів. Розрахувавши всі параметри економічної безпеки, враховуючи середньозважені складові, можемо зробити висновок, що найбільш значущим елементом системи економічної безпеки підприємства є механізм управління, який являє собою сукупність методів і засобів, спонукальних мотивів і заходів, законодавчих актів і правових норм, за допомогою яких забезпечується вирішення поставлених завдань і досягнення цілей стійкої економічної безпеки підприємства.

Бібліографічні посилання

1. Економічна безпека підприємства: Підручник за заг. ред. А.М. Дідика. Лв.: НУ «Львівська політехніка», 2019. 624 с.

2. Прус Н.В. Система економічної безпеки підприємства: поняття, сутність, принципи. *Електронне наукове фахове видання «Глобальні та національні проблеми економіки»*. Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського. Випуск №2. 2014. С. 675-679.

3. Дуб Б.С. Система економічної безпеки підприємства: поняття та структура. *Управление проектами и развитие производства*. 2016. №4 (60). С. 5–18.

4. Кримчук Н.О. Проблеми та шляхи забезпечення економічної безпеки підприємства. [Науковий блог]. Національний університет «Острозька академія». 2018.

5. Коцко Т.А., Ляшенко П.А. Особливості управління економічною безпекою підприємства в умовах макроекономічної нестабільності // VIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні підходи до управління підприємством. Формування та розвиток конкурентоспроможності сучасного бізнесу». 2015.

6. Приходько В. П. Управління економічною безпекою підприємства. *Економіка та держава*. 2013. № 10. С. 10-12.

7. Ортинський В. Л. Економічна безпека підприємств, організацій та установ: навч. посібник / [В. Л. Ортинський, І. С. Керницький та ін.] К.: Правова єдність, 2009. 544 с.

8. Оніщенко М.Л., Сюркало Б.І. Особливості механізму управління економічною безпекою підприємства // Мукачівський державний університет. *Електронне наукове фахове видання «Економіка і суспільство»*. Випуск №16. 2018. С. 446-452.

9. Бриндіна О.А., Труш М.С., Стратегічний набір товарної політики та стратегії управління товарним портфелем. *Журнал «Агросвіт»*. Дніпр: Дніпровський державний аграрно-економічний університет, ДКС-центр. 2020. № 11. С. 107-114.

10. Гусєва О. Ю., Труш М.С. Вплив етно-національних чинників на процес управління корпоративною культурою сучасного підприємства / The Influence of Ethno-national Factors on the Corporate Culture Management Process of a Modern Enterprise. *Інфраструктура ринку: Електронний науково-практичний журнал.* Одеса, 2020. Вип. 45. С. 84-89.

Статтю подано до редакції 20.11.2021

УДК: 330.04 DOI 10.33111/mise.101.13

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

Shchedrina O.I.,
PhD Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor of the Computer Mathematics
and Information Security Department,
SHEI KNEU named after V. Hetman

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ БІЗНЕСУ

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR BUSINESS TRANSFORMATION

Анотація. *Сучасна економіка все більшою мірою стає цифровий. Зараз відбувається цифрова трансформація практично у всіх галузях економіки: виробництві, фінансовому секторі, секторі послуг, в освіті, інфраструк-*

© О. І. Щедріна, 2021

турних галузях і т.д. Бізнес-спільнотою та урядами країн світу усвідомлена необхідність цифровізації та цифрової трансформації економіки з метою досягнення конкурентоспроможних позицій у просторі нової світової економіки, що вимагає науково-методичного опрацювання такого роду змін.
Сьогодні цифрова економіка є не просто актуальним економічним трендом, а новою логікою організації бізнес-процесів у будь-якої компанії та галузі. Цифрові технології є інструментом трансформації бізнесу. Вони розроблені для обробки інформації, на основі яких приймаються управлінські рішення, адаптуються пропозиції під конкретних клієнтів.
Без чіткої стратегії неможливо успішно проводити цифрову трансформацію будь-якої компанії, необхідно точно розуміти, як саме цифровізація допоможе компанії досягати встановлених цілей.
Цифрова трансформація — це довгостроковий проєкт, який вимагає системного та серйозного підходу.
У статті дано трактування понять цифровізація та цифрова трансформація. Поданий зміст процесу цифрової трансформації та стратегії цифрової трансформації. Сформовано зовнішні та внутрішні чинники, які впливають на цифрову трансформацію.
Автором запропоновано етапи цифрової трансформації на основі проєктного підходу.
Відзначено роль різних керівників у процесі цифрової трансформації на різних етапах її впровадження.
Описано ключові технології, використання яких є базою для цифрової трансформації, такі як роботизація, аналіз великих даних і предикативна аналітика, інтернет речей, штучний інтелект, віртуальна і доповнена реальність, технологія оптичного розпізнавання, блокчейн та інші.
Матеріали статті мають науково-методичний характер. У статті розглянуто методичні підходи та методи до розв'язання проблем у цифрової трансформації.
Ключові слова: *цифрова трансформація, цифровізація, бізнес-процеси, цифрові технології, стратегія цифрової трансформації*

Abstract. *The modern economy is increasingly becoming digital. Now there is a digital transformation in almost all sectors of the economy: manufacturing, financial sector, services, education, infrastructure, etc. The business community and governments of the world are aware of the need for digitalization and digital transformation of the economy in order to achieve a competitive position in the new world economy, which requires scientific and methodological study of such changes.*
Today, the digital economy is not just a current economic trend, but a new logic of organizing business processes in any company and industry. Digital technology is a tool for business transformation. They are designed to process information on the basis of which management decisions are made, proposals are adapted to specific customers.
Without a clear strategy, it is impossible to successfully carry out the digital transformation of any company, it is necessary to understand exactly how digitalization will help the company achieve its goals.
Digital transformation is a long-term project that requires a systematic and serious approach. The article gives an interpretation of the concepts of digitization and digital transformation. The content of the digital transformation process and digital transformation strategy is given. External and internal factors influencing the digital transformation are formed. The author proposes the stages of digital transformation based on the project approach. The role of different leaders in the process of digital transformation at different stages of its implementation is noted.
Describes key technologies that are the basis for digital transformation, such as robotics, big data analysis and predictive analytics, the Internet of Things, artificial intelligence, virtual and augmented reality, optical recognition technology, block-

chain and others. The materials of the article have a scientific and methodological character. The article discusses methodological approaches and methods for solving problems in digital transformation.
Keywords: *effective digital transformation, digitalization, business processes, digital technologies, digital transformation strategy*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Актуальність теми обумовлена активним проникненням цифрових технологій у всі сфери життєдіяльності сучасного суспільства. Зараз відбувається цифрова трансформація практично в усіх галузях економіки: виробництві, фінансовому секторі, секторі послуг, у соціально-освітній сфері, інфраструктурних галузях і т.д. Бізнес-спільнотою та урядами країн світу, в тому числі України, усвідомлена необхідність прискорення процесів цифровізації та цифрової трансформації економіки з метою досягнення конкурентоспроможних позицій у цифровому просторі нової світової економіки, що вимагає аналітичного і науково-методичного опрацювання здійснення такого роду змін. У зв'язку з цим виникає необхідність уточнення теоретико-методологічних засад цифрової трансформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання проблеми, що висвітлюється, і на які спирається автор. Проблемам теорії та практики цифрової трансформації присвячено роботи закордонних і вітчизняних дослідників, а саме: G. Westerman, D. Bonnet, A.McAfee [1], Н. Жаргалсайхан [2], О.В. Китова, С.Н. Брускин [3], Г.М. Дергачова, Я.О. Колешня [4] та ін. При цьому, на сьогодні, не існує єдиної точки зору на зміст поняття "цифрова трансформація" і її моделі та інструменти. Ступінь наукової опрацьованості проблеми визначається новизною її виникнення і пов'язаної з цим поки її слабкою науковою розробкою процесів цифрової трансформації.

Виділення не невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Механізми функціонування та способи управління цифровою трансформацією залишаються недостатньо вивченими.

Цілі статті. Метою статті є дослідження інструментів цифрової трансформації та розробка практичних рекомендацій для прийняття оптимальних управлінських рішень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасний бізнес розглядає цифрову трансформацію не як тренд, а як інструмент збереження конкурентної спроможності та підвищення ефективності роботи. Для більшості компаній поняття цифрової трансфор-

мації пов'язано з впровадженням нових технологій, які стали доступні для бізнесу: аналітика великих даних, машинне навчання, штучний інтелект, роботизація, додаткова реальність і інтернет речей. Передумовами для розвитку цифровізації економіки є зниження вартості технологій і обчислювальних потужностей, високошвидкісної передачі даних. Пандемія прискорила «цифрову трансформацію» — бізнес прагне забезпечити максимальну гнучкість, масштабованість, ефективність процесів і систем в нових реаліях. На допомогу прийшли технології, які допомагають обійти обмеження в способах роботи (телеконференції, дистанційне навчання, електронна комерція). Цифрова трансформація зараз розглядається як найважливіший інструмент віддаленої роботи — від відеоконференцзв'язку до платформ управління розподіленими командами, які мають величезний попит.

На сьогодні провідні українські компанії вже реалізували пілотні проєкти з впровадження хоча б однією технології, а деякі сформували програму цифрової трансформації бізнесу. Для того, щоб розробити такий план, кожної компанії необхідно відповісти на ряд питань. Основними, з яких є: які цифрові технології необхідно впроваджувати з урахуванням обмежених ресурсів, як ці технології вплинуть на операційну модель компанії, за який термін інвестиції в трансформацію окупляться. Також необхідно з'ясувати як переходити від впровадження окремих технологій до програми цифровізації, хто буде здійснювати впровадження цих технологій і здійснювати координацію і контроль цих робіт. На ці питання немає готових стандартних відповідей.

Для успішної реалізації програми цифрової трансформації, необхідно розуміти, яка в організації цифрова стратегія. Вона повинна бути сформульована у рамках всієї компанії та передбачати інтеграцію всіх підрозділів, процесів, ресурсів і технологій. Повинен бути розроблений довгостроковий і середньостроковий плани дій, в яких визначені пріоритети ініціатив і терміни їх впровадження, з визначенням цілей компанії на кожному етапі. Для успішної реалізації цифрової трансформації необхідно використання сучасного методів управління і базові навички інформаційних технологій серед співробітників бізнес-підрозділів, а не тільки IT-підрозділів.

На швидкість цифрової трансформації компанії впливають як внутрішні чинники, так і зовнішні. До внутрішніх факторів можна віднести: процеси управління всередині компанії, наявність ресурсів у компанії, а також правильність розподілу їх усередині компанії. Рівень конкуренції на ринку, доступність цифрових

технологій, доступність капіталу, законодавство є зовнішніми факторами.

При розробці стратегії цифрової трансформації необхідно спочатку визначити результат трансформації, який потрібно досягти в кінці цієї трансформації, і тільки після цього потрібно визначати конкретні технології для впровадження. Одним з підходів до впровадження інформаційних технологій є традиційний технологічний підхід. Суть якого ─ вибір проривних технологій, пошук і вивчення пілотних проєктів, визначення цінності цих технологій для бізнесу. Для цифрової трансформації, як показує практика, потрібно використовувати вартісно-орієнтований підхід, який спрямований на поліпшення показників ефективності діяльності компанії. Відповідно до цього підходу необхідно здійснити постановку бізнес-задач, пошук і вивчення альтернативних способів створення цінностей, а також безпосередньо вибір технологій. При виборі проєктів упровадження в умовах обмежених ресурсів необхідно вибудувати процеси за пріоритетами, виділити ті області, які дають збільшити вартість бізнесу.

Інструментарієм для механізму цифрової трансформації соціально-економічних систем, на нашу думку, повинен бути проєктний підхід. Це обумовлено складністю, комплексністю, трудомісткістю цифрової трансформації, досить високою вартістю її здійснення тощо.

Схему цифрової трансформації соціально-економічних систем на базі проєктного підходу подано на рис. 1.

Ключовими технологіями на думку компаній KPMG[5] і Gartner [6] є 8 технологій.

Роботизація (RPA — robot process automation) — роботизація офісних процесів, яка дає можливість скоротити термін виконання ручних рутинних операцій і підвищити операційну ефективність.

Аналіз великих даних і предикативна аналітика. Дана технологія охоплює функції статистичного моделювання, аналіз показників за певний проміжок часу і планування результатів. Швидкість і якість обробки великих даних впливає на ефективність і продуктивність компаній. Рішення предикативної аналітики застосовуються для аналізу великих обсягів даних і формування прогнозів.

Чат-боти — комп’ютерні програми, які працюють всередині програми й імітують текст і мову та використовуються для виконання функцій підтримки, предикативної аналітики застосовуються для аналізу великих обсягів даних і взаємодії з запитами, пошуком інформації з максимальною швидкістю.

Технології штучного інтелекту (AI) призначені для виконання комплексних завдань комп'ютерами й оптимізації використання людських ресурсів.

Технології віртуальної та доповненої реальності є технології проеціювання і доповнення реальності за допомогою технічних засобів. Це дає можливість знижувати вартість виконання процесів за допомогою проєктування та симуляції робочих операцій.

Рис. 1. Цифрова трансформація соціально-економічної системи на основі проєктного підходу

Інтернет речей (IoT) — мережа пов'язаних пристроїв, набір датчиків для збору інформації та подальшої обробки, які обмінюються даними та можуть керуватися дистанційно. Інформація обробляється з використанням інструментом аналізу великих даних для підвищення точності і якості прийнятих рішень.

Технологія оптичного розпізнавання призначена для оптичного розпізнавання і цифровізації документообігу компанії. Дана технологія здатна замінити людину під час приймання, аналізу та перевірки документів і має найбільший потенціал у тих компаніях, де використовується велика різноманітність паперових документів, які потребують зацифрування для прискорення процесів прийняття рішень, обслуговування клієнтів і для автоматизації облікових операцій.

Блокчейном є база даних, яка зберігає інформацію про дії всіх її учасників у вигляді ланцюжка блоків. Особливістю такої бази даних є те, що кожен користувач підтверджує істинність інформації, яку вносять інші користувачі, тим самим знижуючи ризики шахрайства або несумлінного використання інформації.

Найпопулярнішими технологіями, які вже використовуються компаніями, — роботи, чат-боти й інструменти аналізу великих даних.

Компанія Gartner [7], крім цих технологій, виділяє такі технологічні тренди, як цифрові двійники, периферійні обчислення, смартпростір і квантові обчислювальні технології.

Цифровий двійник — це цифрова сутність, яка зображає реальний об'єкт, процес або систему. Цифровий двійник (Digital Twin) — це віртуальна інтерактивна копія реального фізичного об'єкта або процесу, яка допомагає ефективно керувати ним, оптимізуючи бізнес-операції. Наприклад, цифровий двійник заводу дозволяє моделювати розташування обладнання, переміщення співробітників, робочі процеси та позаштатні ситуації. Цифрові двійники можуть бути пов'язані між собою для створення двійників надвеликих систем. Основна увага приділяється цифровим двійникам у технології інтернет речей, які можуть поліпшити процес прийняття рішень на підприємстві, представляючи дані про технічний стан і можливості підвищення ефективності.

Технологія периферійних обчислень полягає у розташуванні центрів збору й аналізу інформації поблизу джерела даних (цифрових пристроїв) для зменшення рівня затримки передачі інформації. З розвитком технологій інтернет речей кількість пристроїв і одержуваних даних збільшується, за допомогою цієї технології можна ефективніше і структурованіше аналізувати отриману з пристроїв інформацію.

Підключення пристрою генерують величезні обсяги даних, які організації в усіх галузях можуть використовувати для прийняття більш ефективних бізнес-рішень і швидкого реагування на зміни умов роботи та взаємодії з клієнтами. У попередні роки підприємства витратили на масове переміщення обчислювальних ресурсів в приватні та публічні хмари, щоб мати можливість оперативного оброблення всіх даних, попри це, вони не можуть покладатися тільки на хмарні обчислення.

Організації прийшли до висновку, що обсяг даних для переміщення з кінцевих пристроїв у хмару для аналізу дуже великий і ставить під питання економічну доцільність повторного відправлення обробленої інформації з хмари назад на ці пристрої.

Це призвело до того, що організації звернулися до технології периферійних обчислень, що означає перенесення обчислювальних ресурсів фізично ближче до кінцевих пристроїв. До них також належать спеціалізовані шлюзи, сервери. Мета периферійних обчислень однакова незалежно від виду пристрою або методу його застосування: збір та аналіз даних з кінцевих точок, а потім використання цієї інформації для управління подальшими діями останніх.

Смартпростір — це фізична або цифрове середовище, в якій люди та технологічні системи взаємодіють між собою. Інтелектуальний простір розвивається в міру того, як окремі технології включаються в систему спільної взаємодії.

Квантова обчислювальна техніка — це тип некласичних обчислень, заснований на квантовому стані субатомних частинок, які представляють інформацію у вигляді елементів, що позначаються як квантові біти. Квантові комп'ютери є експотенціально масштабованою обчислювальною моделлю.

Висновки. Застосування інноваційних технологій на сьогодні актуально в усіх галузях і типах бізнесу. Сьогодні для бізнесу критично важливо освоїти цифрові технології та навчитися їх використовувати. Орієнтація на цифрову трансформацію надасть підприємствам нові напрямки для розвитку, дозволить обійти конкурентів і підготує до змін найближчого майбутнього. Ця стаття і приведені підходи до цифрової трансформації допоможе бізнесу підійти цього процесу якомога усвідомленіше.

Бібліографічні посилання

1. George Westerman, Didier Bonnet, Andrew McAfee. Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation. *Harvard Business Review Press*. 2014. 292 p.

2. Жаргалсайхан Н. Особенности цифровой трансформации зарубежных компаний: анализ опыта компании General Electric. *Стратегии бизнеса. Электронный научно-экономичный журнал*. Том 9. № 2 (2021). С. 42-48.

3. Китова О.В., Брускин С.Н. Цифровая трансформация бизнеса. *Цифровая экономика*. 1(1). ‘2018. С. 20-25.

4. Дергачова Г. М., Колешня Я. О. Цифрова трансформація Бізнесу: сутність, ознаки, вимоги та технології. *Економічний Вісник НТУУ «КПІ»*. 2020. С. 280-290.

5. Перспективные технологии. https://home.kpmg/ru/ru/home/services/consulting/technology-services/emerging-technologies-in-risk-consulting.html

6. Susan Moore. These data and analytics technology trends will have significant disruptive potential over the next three to five years. https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-data-analytics-trends/.

7. Kasey Panetta. The Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2020 highlights 30 technology profiles that will significantly change society and business over the next five to ten years. https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020.

Статтю подано до редакції 17.10.2021

УДК 519.868:339.92 DOI 10.33111/mise.101.14

Юнькова О.О., к. ф.-м. н., доцент,
професор кафедри математичного моделювання та статистики,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Володько Т.О., магістрант 1 курсу
за освітньо-професійною програмою
«Економічна кібернетика і Дата Сайнс», ІІТЕ,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Yunkova O.O., PhD in Mathematics,
Professor of the Department of Mathematical Modeling and Statistics,
SHEI KNEU named after V. Hetman
Volodko T.O.,
1th grade Master’s student for the educational
and professional program “Economic Cybernetics and Data Science”
of the Institute of Information Technology in Economics,
SHEI KNEU named after V. Hetman

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПУЛЯРНОСТІ ІНТЕРНЕТ-КУРСІВ МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

PREDICTING THE POPULARITY OF INTERNET COURSES BY MACHINE LEARNING METHODS

Аннотація. *Масові відкриті онлайн-курси (МВОК) — приклад розвитку руху відкритого навчання, яке привернуло велику увагу як академічної, так і громадської сфери. МВОК не є самостійним явищем, ізольованим від інших*

© О. О. Юнькова,
Т. О. Володько, 2021

розробок в області відкритого і дистанційного навчання або освітніх технологій. Навпаки, МВОК тісно пов'язані з іншими розробками в цій галузі, мають потенціал для підтримки навчання протягом усього життя, усунення перешкод у процесі навчання, забезпечення рівності можливостей в освіті і, що найголовніше, забезпечення лібералізації знань. У роботі визначено теоретичні засади формування ринку інтернет-курсів; проаналізовано сучасний стан і тенденції ринку інтернет-курсів України та світу; проведена класифікація інтернет-курсів залежно від їх рейтингової оцінки; прогнозується значення рейтингової оцінки для визначення популярності онлайн-курсів. Вирішення проблеми прогнозування популярності курсів у даному дослідженні досягається завдяки методам машинного навчання, які класифікують онлайн курси на основі параметру рейтингової оцінки. А саме, курси, які отримують максимальний рейтинговий бал, вважаються популярними.

Розв'язування задач класифікації чи регресії засобами машинного навчання найчастіше досягається шляхом побудови ансамблевих моделей. В основу такого підходу покладено гіпотезу про об'єднання кількох моделей, яке може призвести до утворення потужнішої моделі. Спосіб об'єднання моделей має бути адаптованим до їхніх типів. Наразі існує кілька мета-алгоритмів, що застосовують для утворення об'єднаних моделей. В одному з них (метод беггінгу) однорідні початкові моделі навчаються паралельно та незалежно одна від одної, а потім об'єднуються згідно певного детермінованого правила усереднення. Одним з варіантів цього алгоритму є метод випадкового лісу. В іншому алгоритмі моделі навчаються послідовно в адаптивний спосіб. Найпопулярні з них — адаптивний і градієнтний бустинг. Перший оновлює вагу кожного з об'єктів навчального датасета, а другий — оновлює значення цих об'єктів. При цьому обидва методи намагаються розв'язати задачу оптимізації для пошуку найкращої моделі, представленої зваженою сумою початкових слабших моделей. У даній роботі для прогнозування популярності інтернет-курсів застосовано алгоритми градієнтного бустингу та випадкового лісу. Запропоновані моделі гарантують 65-ти відсоткову точність прогнозів. Серед факторів, що знижують точність прогнозу-вання, можна назвати атрибути, які не дуже корелюють із прогнозним значенням, а також диспропорція та значні викиди, які спостерігаються у даних. Розглянуті методи машинного навчання піддаються модифікаціям та тюнінгу, що дає можливість покращити моделювання класифікатора.

Ключові слова: *інформаційні технології, інтернет-навчання, алгоритм градієнтного бустингу, алгоритм випадкового лісу*

Abstract. *Mass open online courses (MOOC) are an example of the development of the open learning movement, which has attracted a lot of attention from both the academic and public spheres. IOC is not an independent phenomenon isolated from other developments in the field of open and distance learning or educational technologies. On the contrary, IOCs are closely linked to other developments in this field, have the potential to support lifelong learning, remove barriers to learning, ensure equal opportunities in education and, most importantly, liberalize knowledge.*

The theoretical bases of formation of the market of Internet courses are defined in the work; the current state and trends of the Internet courses market in Ukraine and the world are analyzed; the classification of Internet courses depending on their rating assessment is carried out; the rating value is predicted to determine the popularity of online courses. The solution to the problem of predicting the popularity of courses in this study is achieved through machine learning methods that classify online courses based on the rating parameter. Namely, the courses that receive the maximum rating score are considered popular. Solving problems of classification or regression by machine learning is most often achieved by building

ensemble models. This approach is based on the hypothesis of combining several models, which could lead to the formation of a more powerful model. The method of combining models should be adapted to their types. Currently, there are several meta-algorithms used to form integrated models. In one of them (the method of bugging) homogeneous initial models are studied in parallel and independently of each other, and then combined according to a certain deterministic averaging rule. Currently, there are several meta-algorithms used to form integrated models. In one of them (the method of bugging) homogeneous initial models are studied in parallel and independently of each other, and then combined according to a certain determined averaging rule. One variant of this algorithm is the random forest method. In another algorithm, models are trained sequentially in an adaptive manner. The most popular of these are adaptive and gradient boosting. The first updates the weight of each of the training dataset objects, and the second updates the values of these objects. In doing so, both methods attempt to solve the optimization problem to find the best model represented by the weighted sum of the initial weaker models. In this paper, gradient boosting and random forest algorithms are used to predict the popularity of online courses. The proposed models guarantee 65 percent accuracy of forecasts. Factors that reduce the accuracy of the forecast include attributes that do not correlate much with the forecast value, as well as the disparity and significant emissions observed in the data. The considered methods of machine learning are subject to modifications and tuning, which makes it possible to improve the modeling of the classifier.
Keywords: *information technologies, e-leaming, gradient boosting algorithm, random forest algorithm*

Актуальність: У 21-му столітті відбулася зміна освітньої парадигми, пов'язана з широким використанням інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ). З поширенням ІКТ у мережі Інтернет відкрите та гнучке навчання перемістилося з периферії освітньої діяльності до основного напрямку освіти. ІКТ покращили якість і можливості онлайн-доставки освітнього контенту. Онлайн-мережі зараз широко використовуються як розподілені, гнучкі та доступні навчальні середовища і, що головне, потенційно відкриті.

Актуальність прогнозування популярності онлайн-курсів незаперечна, оскільки пандемія COVID-19 привернула багатьох людей до онлайн-освіти. Третина учнів, які коли-небудь реєструвались на платформі масових відкритих онлайн-курсів — МВОК, приєдналися до них саме у 2020 році. Масові відкриті онлайн-курси стали альтернативою освітньої платформи, яка дає змогу отримати доступ до такої ж якості навчання через Інтернет учням з віддалених географічних територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток машинного навчання характеризується появою складних і вдосконалених алгоритмів для розв'язування, здавалося, звичайних задач. Ці алгоритми пропонують нові підходи до роботи із даними, детально аналізують їх, підвищуючи тим самим статистичну значущість прогностичної моделі.

Прикладом таких підходів є алгоритми, побудовані на ідеї створення ансамблів моделей, відомі як алгоритми бустингу. Побудова ансамблів моделей базується на ітераційному перенавчанні, коли за допомогою простої моделі, яка сама по собі мала б нерелевантні прогнозні значення, будується потужніша за своїми характеристиками модель. Навчання моделі відбувається в такий спосіб, щоб кожна наступна модель підсилювала дію попередньої [1]. Найпопулярнішими серед подібних алгоритмів є алгоритм адаптивного бустингу та градієнтного бустингу [2].

Для покращення стабільності і точності алгоритмів машинного навчання застосовують випадковий ліс — модифікацію алгоритму дерева рішень, в якому замість побудови одного дерева будується кілька. Кожне з побудованих дерев виводить певний результат, а в якості остаточного результату обирається той, що зустрічається найчастіше [3].

Традиційні методи оцінки моделей, такі як коефіцієнт детермінації, скоригований коефіцієнт детермінації, коефіцієнт кореляції тощо, переважно не застосовують у задачах класифікації. Тут використовуються матриці помилок, показник accuracy, out-of-bag error і багато інших.

Інтерес до методів машинного навчання відображений у працях вітчизняних науковців Дербенцева В.Д, Жебки В. В., Бідюка П.І. Проблемам формування та розвитку ринку онлайн-освіти та інтернет-курсів в Україні присвячено низку наукових праць Н. В. Казаринової, Б. І. Шуневича, Г. Яценка, С. В. Степаненка, В. Ю. Стрельнікова та багатьох інших.

Невирішені проблеми. Не зважаючи на інтерес до даної теми, існує широке коло задач, які потребують вирішення сучасними методами машинного навчання. Однією з них є проблема визначення критеріїв, що впливають на популярність курсів серед студентів і напрямків, які є цікавими для сучасних учнів. У зв'язку зі стрімким розвитком онлайн-освіти кількість і різноманітність курсів, представлених на різних освітніх платформах дуже зросла: обрати курси за тематикою, змістом і викладачами стає дедалі тяжче. Тому було запропоновано оцінювати популярність онлайн-курсів на основі досліджуваних критеріїв.

Мета статті. Метою статті є аналіз ринку інтернет-курсів і дослідження факторів, що впливають на їхню популярність. Прогнозування популярності інтернет-курсів у таких умовах є важливим компонентом формування ринку електронної освіти та дає можливість організаторам інтернет-курсів керувати їхньою варті-

стю та своєю інвестиційною діяльністю, а студентам орієнтуватись на корисні та якісні знання.

Виклад основного матеріалу. Масові відкриті онлайн-курси (МВОК) — одна з найпомітніших тенденцій у вищій освіті останніх років. Термін «МВОК» транслює відкритий глобальний доступ до навчального контенту на основі відео, лекцій, завдань, тестів і форумів, які публікуються через онлайн-платформу для великої кількості учасників, які бажають пройти курс або здобути освіту [4, 5].

Кількість зареєстрованих користувачів МВОК постійно збільшується, так само збільшується і кількість курсів по всьому світу. Перший великий відкритий онлайн-курс, запроваджений Університетом Манітоби, припадає на 2008 рік. Однак широкий громадський інтерес до МВОК виявився після 2011 року, коли Стенфордський університет і Масачусетський технологічний інститут (MIT) поширили відкритий онлайн-курс зі штучного інтелекту. Цей курс охопив більше 160 000 студентів з більш ніж 190 країн [6].

Основними перевагами онлайн-курсів є: відкритість для всіх, незалежно від віку, місця проживання та соціального статусу; можливість вивчати різні дисципліни, не прив'язуючись до конкретної спеціалізації; безкоштовне використання; спілкування з однодумцями; швидкий пошук інформації; вся навчальна інформація зібрана в одному місці. Головною особливістю таких курсів можна вважати їхню інтерактивність, використання у будь-який зручний для користувача час [7]. Такий навчальний формат усуває фінансові обмеження, пов'язані з неможливістю дозволити собі отримувати освіту в університеті.

МВОК надає можливість студентам контролювати темп, в якому вони працюють. Кожен курс передбачає приблизний час, який потрібен на його проходження. І хоча самі курси обмежені у часі, немає жодних лімітів щодо перегляду навчального контенту протягом цього періоду. Перевагою використання курсів є те, що студенти з різних країн можуть взаємодіяти між собою, ділитись досвідом, разом провадити дослідження.

Складність контролю виконання завдань і ступеня залученості студентів є величезною проблемою, з якою стикаються як розробники курсів, так і інструктори. Одним із найсильніших аргументів проти МВОК є дуже низький рівень завершення курсів. Дослідження Кріса Парра та Кетті Джодан показали, що до завершення МВОК приходять лише 7 % слухачів, а частка їх починає знижуватися ще із першого тижня від запуску [8, 9]. Такі низькі

показники завершення курсів пов'язують з відсутністю персонального контакту та будь-якої форми взаємодії. Інша гіпотеза сформована навколо того, що власне акт завершення курсів не має значення, оскільки учні записуються туди, щоб знайти конкретну інформацію, а після її отримання зменшується необхідність витрачати свій час [10].

Спалах пандемії COVID-19 лише збільшив попит на МВОК по всьому світу. Ця тенденція, ймовірно, зберігатиметься і надалі, оскільки уряди багатьох країн виступають з ініціативами зробити освіту та навчання доступними для всіх. Очікується, що ринок онлайн-курсів отримає поштовх у найближчі роки [11]. При цьому одним із векторів розвитку буде створення та просування масових інформаційних платформ, і, зокрема, спеціальних платформ за напрямком навчання, що мають забезпечувати в одному місці доступ до величезного репозиторія даних із курсами [12].

Велика кількість інформації щодо студентів та їхньої поведінки, яку щоденно накопичують платформи відкритих масових онлайн курсів, дають змогу відслідковувати прогрес навчання та популярність курсів, алгоритми їх просування. Згенеровані та збережені дані з часом зростають експоненціально, але при цьому не приносять користі без використання спеціальних засобів аналізу, адже для ухвалення рішень необхідно класифікувати великі обсяги даних, відслідкувати залежності і робити прогнози на майбутні періоди.

При цьому дані можуть бути неповними або, навпаки, надмірними, зашумленими, не систематизованими, або систематизованими неправильно. Для усунення таких проблем використовують методи машинного навчання, які дають змогу варіювати параметри моделей в процесі навчання для досягнення найбільшої їх відповідності реальним даним. У зв'язку цим актуальним стає алгоритм адаптивного бустингу.

Алгоритм починає своє навчання з побудови дерева рішень, у якому на першій ітерації кожному значенню відповідає однакова вага. Після першого прогону алгоритму ті значення, які складно ідентифікувати та об'єднати у певний спосіб, отримують більше значення вагового коефіцієнту. На наступному етапі навчання алгоритму розпочинається зі значень, що мають найбільшу вагу, і у разі, якщо їх знову не вдалося класифікувати, то їхні коефіцієнти збільшуються. А для тих об'єктів, які класифікувати легше, значення коефіцієнтів зменшується.

Поряд із моделлю адаптивного бустингу розглядається модель градієнтного бустингу. В ній на першій ітерації для всього дата-

сету будується модель, на підставі якої виявляються помилки. На другій ітерації будується нова модель, що покликана їх мінімізувати з урахуванням цільової змінної. Прогнози моделей на наступних ітераціях базуються на знаннях, отриманих на попередніх кроках. Ітерації повторюються, допоки не буде досягнуто максимальної кількості класифікованих змінних або перестануть відбуватися зміни у значенні помилок.

Особливістю моделі XGBoost — різновиду моделі градієнтного бустингу — є наявна можливість тюнингу (коригування) параметрів поряд із дефолтними характеристиками. Процес тюнингу гіперпараметрів передбачає вибіркове присвоювання значень, або побудову сітки гіперпараметрів, серед яких алгоритм обирає їхню найкращу комбінацію.

Випадковий ліс — це одна з модифікацій алгоритму дерева рішень, що дає змогу суттєво підвищити точність класифікації. Метод базується на двох основних принципах: 1) у процесі тренування кожне дерево випадкового лісу вчиться на випадковому зразку з набору даних; 2) при поділі вузлів обираються випадкові набори параметрів, а для визначення найімовірнішого з них обирається той, що зустрічається найчастіше.

Цей алгоритм вважається одним з найуніверсальніших — його використовують у задачах регресії, кластеризації, селекції ознак, класифікації та пошуку аномалій.

Алгоритм дерева випадкового лісу має ряд переваг, які зумовлюють його широке використання, а саме:

1) випадковий ліс забезпечує значне підвищення точності за рахунок слабкої кореляції дерев в ансамблі, через подвійну ін'єкцією випадковості в індуктивний алгоритм — з аналізом помилок і використанням методу випадкових підпросторів при розщепленні кожної вершини;

2) усувається методологічно та алгоритмічно складна проблема скорочення повного дерева рішень, оскільки дерева випадкового лісу не скорочуються, що в свою чергу забезпечує високу обчислювальну ефективність;

3) усувається проблема перепідгонки навіть у разі більшої кількості ознак порівняно з кількістю спостережень навчальної вибірки і великої кількості дерев. Тим самим знімається складна проблема відбору ознак, що виникає в інших ансамблевих класифікаторів;

4. простота застосування: єдиними параметрами алгоритму є кількість дерев в ансамблі і кількість ознак, випадково відібраних для розщеплення у кожній вершині дерева;

5) ефективно обробляє нелінійні параметри: нелінійні параметри не впливають на продуктивність випадкового лісу, на відміну від інших алгоритмів;

6) простота організації паралельних обчислень [14].

Якість класифікації, що виконується алгоритмами машинного навчання, оцінюється на підставі матриці помилок, яка дає змогу виявляти статус класифікації значень. Модельні значення залежної змінної, отримані на навчальному наборі даних, порівнюють із реальними значеннями. Всім показникам призначається певний статус. При цьому для моделі бінарної класифікації уводиться статус «позитивний» для події зі значенням 1, а статус «негативний» для події зі значенням 0. Тоді після прогнозу для кожної із групи значень можна отримати два випадки: значення було класифіковано правильно і це ж значення було класифіковане неправильно, тобто потрапило не в ту групу. Залежно від комбінацій цих параметрів виокремлюють істинно-позитивні (*TP*) та хибно-позитивні значення (*FP*), істинно-негативні (*TN*) та хибно-негативні (*FN*) значення. Співвідношення таких значень зазвичай представлено у вигляді матриці (не обов'язково 2x2, це залежить від вхідних умов).

На основі значень матриці помилок визначається показник точності accuracy [15]:

$$accurancy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}, \quad (1)$$

де *TP — кількість істинно-позитивних значень;*

TN — кількість істинно-негативних значень;

FP — кількість хибно-позитивних значень;

FN — кількість хибно-негативних значень.

Оцінити якість роботи моделі можна за допомогою показників точності (precision) та повноти (recall):

$$precision = \frac{TP}{TP+FP}, \quad (2)$$

$$recall = \frac{TP}{TP+FN}. \quad (3)$$

При цьому точність precision показує частку істино-позитивних значень, які були визначені як істино-позитивні, а повнота відображає, яку саме частину становлять істинно-позитивні об'єкти серед усіх позитивних об'єктів, які були класифіковані алгоритмом. За допомогою точності precision відбува-

ється певний розподіл об'єктів, оскільки якщо всі об'єкти віднести до одного класу, то отримаємо дуже високий рівень хибно-негативних значень.

Існує кілька підходів до об'єднання показників точності та повноти в один критерій. Зокрема, це може бути значення *F* — критерію як середньогармонічного між цими показниками, який бажано максимізувати [16]:

$$F_\beta = (1 + \beta^2)\frac{precision*recall}{(\beta^2*precision)+recall}, \quad (4)$$

де β — *показник ваги точності*.

Іншим показником точності моделі є крос-ентопія (перехресна ентопія) або log loss — так звана функція витрат, яка використовується при розв'язанні задач логістичної регресії, а також при побудові моделей нейронних мереж.

Крос-ентопія є від'ємною логарифмічною імовірністю логістичної моделі. Для одного значення позитивно класифікованого об'єкта оцінка імовірності логарифмічних втрат буде такою:

$$L_{log}(y, p) = -(y(\log(p) + (1 - y)\log(1 - p)), \quad (5)$$

де p — *ймовірність приналежності до певного класу*;

y — *результативна змінна логістичної моделі.*

Слід зазначити, що в неперервному випадку цей показник має ту ж специфіку, що і поняття диференціальної ентропії, не зважаючи на формальну аналогію з дискретним випадком [17, 18].

У роботі розглядається набір даних «IT та програмне забезпечення», на платформі Udemy, що містить інформацію про близько 22 тисячі курсів, спрямованих на вивчення IT, програмного та апаратного забезпечення, мереж, безпеки даних, IT-сертифікації та інших напрямків [19]. Дослідження проведено в середовищі R.

Аналіз початкових даних показав, що кількість безкоштовних курсів щорічно зростала, а для категорії платних курсів у 2016 та 2020 роках відбулося незначне зниження в категорії «IT та програмне забезпечення». Це не означало зменшення популярності МВОК, а всього лише стало наслідком того, що курси публікувались на інших платформах або у інших категоріях. Крім того виявлено, що при постійному зростанні кількості онлайн-курсів та їхньої різноманітності, а також збільшенні кількості студентів, які долучаються до електронного навчання, середня кількість студентів на курс — спадала.

Детальніший аналіз даних стосувався атрибутів, які характеризують онлайн-курси. Всього їх налічується більше двадцяти.

Статистичну інформацію щодо змінних, а саме: мінімальні, максимальні та середні значення кожної числової змінної, їхні квантилі та моди, а також категоріальні та логічні змінні, отримано через функцію summary( ), а статистику щодо розподілу значень параметрів візуалізувано у вигляді «ящику з вусами» за допомогою функції boxplot( ).

Дані, які використовують для моделювання, мають відповідали вимогам алгоритмів. Насамперед їх потрібно очистити від зайвої інформації, перевірити, чи немає відсутніх значень, за необхідності закодувати певні атрибути.

З цією метою категоріальні змінні, які є унікальними для кожного запису, а також інші неінформативні дані, що не використовуються в моделюванні, або ж містять ідентичні дані, виключено із розгляду. Пропуски даних щодо окремих змінних заповнені за допомогою функції mutate( ). Використання функції dummyVars дало змогу закодувати логічні значення «True» в «1», а «False» у «0». Атрибути, що відповідають за дату створення і публікації курсів, замінено на два стовпці: «created_year» та «created_month» для «created» і «published_year» та «published_month» для «published_time».

У результаті отримано новий модифікований набір даних «udemy_tr», що складається з 22853 спостережень і має 12 числових атрибутів. Сила та напрям зв'язку між змінними виявляється за допомогою кореляційної матриці.

Популярність онлайн курсів великою мірою залежить від рейтингової оцінки курсу, пропонується класифікувати курси на 5 класів (табл. 1)

Для побудови моделі та її перевірки дані поділено на тестову («test») та навчальну («train») вибірки. При цьому до тренувального набору даних увійшло 15997 спостережень, тобто приблизно 70 % початкових даних, а до тестового 6856 — приблизно 30 % даних.

Таблиця 1

РЕЙТИНГОВА ОЦІНКА КУРСУ

Клас	Середній рейтинговий бал
перший	від 0 до 1
другий	від 1 до 2
третій	від 2 до 3
четвертий	від 3 до 4
п'ятий (найбільша популярність)	від 4 до 5, включно з 5

Для прогнозування популярність онлайн-курсів на платформі Udemy на основі відомих атрибутів використано алгоритм градієнтного бустингу.

При моделюванні показників із дефолтними параметрами алгоритм виконав 1000 прогонів і побудував стільки ж моделей. Вибір найкращої моделі здійснено за критерієм logloss — показника логарифмічної втрати. Мінімізація цього показника призводить до максимізації точності класифікатора.

Прогноз на основі алгоритму градієнтного бустинга з дефолтними параметрами показав результат точності 60,59 %.

Для підвищення точності прогнозування змінено дефолтні параметри: eta = 0.1, gamma = 1, max_depth = 5, min_child_weight = 3, subsample = 0.6, colsample_bytree = 0.8, а також максимальну глибину дерева, мінімальна суму ваги екземпляра, необхідну дочірнім атрибутам та інші характеристики. У результаті отримано модель, яка має точність класифікатора 63,46 %.

Для реалізації багатокласової класифікації застосовано алгоритм випадкового лісу (бібліотека library (randomForest)). Точність прогнозів за цим методом становить 64,82 %. З кращою точністю модель класифікувала курси, що належать до першого та п'ятого класів. Курси, з рейтинговою оцінкою від 1 до 2 та від 2 до 3 характеризуються низькою точністю прогнозів.

Для обох моделей вплив змінних є однаковим. А саме, на популярність онлайн-курс з категорії «IT та програмне забезпечення» на платформі Udemy, найбільший вплив має кількість відгуків і кількість учасників курсу. До того ж виявлена досить сильна кореляція між популярністю онлайн-курсів і кількістю опублікованих лекцій.

Найменш важливим показником для класифікації онлайн-курсів виявився параметр «is_paid_TRUE», що відповідає за те, чи є курс платним чи безкоштовним. Такий результат є несподіваним, оскільки безкоштовні курси мали б привертати увагу більшої кількості людей, однак з іншого боку, також можуть викликати недовіру до їхньої якості. Малий вплив цього параметр на прогнозні моделі, можна пояснити також «перекосом» даних, адже на 98 % оплачуваних курсів припадає лише 2 % безкоштовних.

Висновки. Аналіз масових відкритих онлайн курсів у категорії «IT та програмне забезпечення» на платформі Udemy показав, що ринок МВОК зростає з кожним роком як за кількістю створених курсів, так і за чисельністю нових студентів. На платформі значно переважають платні курси, хоча за останні 2 роки кількість опублікованих безкоштовних курсів також зросла. Пандемія

COVID-19 підсилила загальні тенденції, оскільки багато провайдерів і розробників курсів заохочують нових користувачів до таких курсів. З кожним роком конкуренція на ринку МВОК зростає: за останні 6 років кількість пропонованих курсів різними платформами зросла настільки, що середня кількість учасників курсів впала в кілька разів.

У результаті моделювання класифікаторів методами машинного навчання (градієнтним бустингом і випадковим лісом) отримано дві моделі, точність прогнозів яких становить 63,46 % і 65,5 % відповідно.

Відомо, що початкові дані визначають продуктивність системи машинного навчання. Якісний результат забезпечують якісні дані. Зокрема, перекоси даних, дублювання інформації, наявність неінформативних змінних можуть негативно впливати на результат моделювання.

У ході дослідження було з'ясовано, що на популярність онлайн-курсів насамперед впливають кількість відгуків, кількість лекцій у курсі та їхня ціна. Щодо напрямків курсів, то найпопулярнішими залишаються курси, які пов'язані із побудовою власного ІТ-бізнесу та машинним навчанням.

Бібліографічні посилання

1. Balabanov D. V., Kovtun A. V., Kravchenko Y. A. TWO-STAGE BOOSTING OF BINARY CLASSIFICATION BASED ON THE APPLICATION OF BIOINSPIRED ALGORITHMS. IZVESTIYA SFedU. *ENGINEERING SCIENCES*. 2020. No. 3. P. 133–146. URL: https://doi.org/10.18522/2311-3103-2020-3-133-146

2. Жебка В. В. Оптимізація роботи алгоритму градієнтного бустингу за допомогою перехресної перевірки [Електронний ресурс] / В. В. Жебка, В. І. Виноградов, А. П. Бондарчук, М. М. Степанов. *АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОНОМІКИ*. №12 (222). — 2019. — Режим доступу до ресурсу: https://ecoscience.net/archive/2019/APE-12-2019/12.19 topic_Zhebka %20VV, %20 Vynohradov %20VI, %20Bondarchuk %20A.P., %20Stepanov %20M.M..pdf.

3. Маслій Р.В. Застосування випадкових лісів для класифікації даних / Р.В. Маслій, О.Ю. Філіпчук. *Veda a technologie: krok do budoucnosti–2014*. 2014. Praha. Dfl. 30. — С. 24-27.

4. Massive open online courses (MOOCs) & Definitions — Educational Technology. Educational Technology. URL: https://educationaltechnology.net/massive-open-online-courses-moocs-definitions/

5. *eNUFTIR: Home*. URL: http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/19800/1/55.pdf.

6. Contributors to Wikimedia projects. Udemy — Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Udemy.

7. Шарова, Т. М. та Шаров, С. В. Масові відкриті онлайн курси як можливість підвищення конкурентоспроможності фахівця. *Молодий вчений*. 9.1 (61.1). 2018. С. 137-140. URL: http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/2425/

8. Петренко С. В. Сутність та особливості українських платформ масових відкритих онлайн-курсів (МВОК). *Інноватика у вихованні*. 2020. Т. 2. № 11. С. 165–173. URL: https://doi.org/10.35619/iiu.v2i11.260

9. Parr Chris (2013), MOOC Completion Rates 'below 7 %': Open online courses' cohort much less massive at finish line, Retrieved from Times Higher Education on July 24th, 2015: https://www.timeshighereducation.co.uk/news/mooc-completion-rates-below-7/2003710.article

10. Jordan K. Massive Open Online Course Completion Rates Revisited: Assessment, Length and Attrition. *International Review of Research in Open and Distributed Learning.* 2015. Vol. 16, no. 3. P. 341–358. URL: https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1067937.pdf

11. Glybovets M., Zhyrkova A. Using machine learning in sound classification tasks. NaUKMA Research Papers. *Computer Science*. 2019. Vol. 2. P. 22–31. URL: https://doi.org/10.18523/2617-3808.2019.2.22-31

12. 10 Predictions for the Online Course Industry in 2021. *Persuasion Nation: Passive Income Strategies for Busy People*. URL: https://www.persuasion-nation.com/blog/10-predictions-for-the-online-course-industry-in-2021

13. Massive Open Online Course Market Witnessing Impressive Growth Owing to the Surge in Demand amidst the Pandemic: FMI. URL: https://www.futuremarketinsights.com/press-release/massive-open-online-course-mooc-market

14. Чистяков С. П. Случайные леса: обзор. *Труды Карельского научного центра РАН*. 2013. № 1.С. 117–136. URL: http://resources.krc.karelia.ru/transactions/doc/trudy2013/trudy_2013_1_117-136.pdf.

15. Оценка классификатора (точность, полнота, F-мера). Суровая реальность. URL: http://bazhenov.me/blog/2012/07/21/classification-performance-evaluation.html.

16. Labintcev E. Метрики в задачах машинного обучения. Все публикации подряд / Хабр. URL: https://habr.com/ru/company/ods/blog/328372/.

17. sklearn.metrics.log_loss — scikit-learn 0.24.2 documentation. scikit-learn: machine learning in Python — scikit-learn 0.16.1 documentation. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.log_loss.html.

18. Contributors to Wikimedia projects. Перекрёстная энтропия — Википедия. Википедия — свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Перекрёстная_энтропия.

19. IT & Software Courses Udemy — 22k+ courses. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community. URL: https://www.kaggle.com/jilkothari/it-software-courses-udemy-22k-courses

20. By The Numbers: MOOCs in 2020 — Class Central. The Report by Class Central. URL: https://www.classcentral.com/report/mooc-stats-2020/.

Статтю подано до редакції 11.11.2021

УДК 519.868:339.92 DOI 10.33111/mise.101.15

Юнькова О.О., к. ф.-м. н., доцент,
професор кафедри математичного моделювання та статистики,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Кучер П.В. аспірант
кафедри математичного моделювання та статистики,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Yunkova O.O., PhD in Mathematics,
Professor of the Department of Mathematical Modelling and Statistics
SHEI KNEU named after V. Hetman
Kucher P.V.
Postgraduate student of the Department of Mathematical
Modeling and Statistics,
SHEI KNEU named after V. Hetman

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТОВАРНИХ РИНКІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ДЕКОМПОЗИЦІЇ

MODELING AND FORECASTING OF COMMODITY MARKETS BASED ON THE DECOMPOSITION METHOD

Анотація. *Прогнози становлять значну інформаційну базу для процесу прийняття управлінських рішень. У даній роботі розглянуто процес дослідження та економетричного моделювання продажів різних товарів: два набори даних, що представляють різні снеки, лікарський препарат від грипу та простуди, знеболююче (нестероїдний протизапальний препарат), гель, що застосовуються проти болю в ногах, а також вітамінний комплекс. Часові ряди щодо продажів снеків і гелю представлено місячними даними, а всі інші набори — тижневими даними. Графічний аналіз даних, а також інструментарій перших різниць та автокореляційна функція показали наявність трендової та сезонної складової в даних часових рядах. Метод декомпозиції, який дає змогу виявляти як довгострокові тенденції розвитку процесів, так і виділити сезонні зміни, застосовано для побудови моделей часових рядів. Для реалізації цього методу вибрано середовище R, в якому передбачено широкий спектр послуг, інструментів і пакетів для аналізу даних. У даній роботі проведено аналіз даних і виділено комбінацію трендової та сезонної складової даних часових рядів. Декомпозицію ряду реалізовано методом LOESS (Seasonal Transformation using LOESS — "STL"). Алгоритм STL реалізує основні засади методу декомпозиції, а саме згладжує часові ряди за допомогою LOESS у двох циклах. У внутрішньому циклі виконується згладжування сезонних коливань і згладжування тренду, а зовнішній цикл мінімізує вплив викидів. При цьому у внутрішньому циклі спершу обчислюється сезонна компонента, а після її видалення обчислюється трендова складова. Залишки обчислюються шляхом віднімання сезонного та трендового компононентів із часових рядів. Виділені залишки перевіряються на відповідність нормальному закону розподілу. Всі зазначені кроки автоматично виконуються за допомогою мови R. Результати економетричного моделювання дозволили виявити головні тенденції, а також здійснити прогноз у короткостроковій перспективі. У результаті дослідження розроблено адекватну модель прогнозування для часових рядів, які можуть виникати на різних товарних ринках. Верифікація моделі показала достатню то-*

© О. О. Юнькова,
П. В. Кучер, 2021

чність і достовірність виконаних на її основі прогнозів, тому її можна застосовувати у подальших дослідженнях для аналізу продажів продуктів різних категорій і прогнозування їхніх майбутніх значень.
Ключові слова: *моделювання, часовий ряд, метод декомпозиції часового ряду, прогнозування, товарні ринки, тренд, сезонність*

Abstract. *Forecasts are a significant information base for the management decision-making process. This study examined the process of research and econometric modeling of sales of different products: two sets of data representing different snacks, a drug for flu and colds, painkillers (nonsteroidal anti-inflammatory drug), a gel used for pain in legs, as well as a vitamin complex. The periodicity of the time series of snacks and gel was on a monthly basis, all other sets of data had a weekly seasonality. Data analysis was performed and a combination of trend and seasonal components of time series data were identified. Decomposition was performed by the LOESS method (Seasonal Transformation using LOESS — "STL").*

The algorithm of STL will realize basic principles of method of decouplig, namely smooths out sentinels rows by means of LOESS in two cycles. Smoothing of seasonal vibrations and smoothing of trend is executed in the inner loop, and an outer loop minimizes influence of extrass. Thus in the inner loop a seasonal component is calculated at first, and after her moving away the constituent of trend is calculated. Bits and pieces are calculated by deduction of seasonal and trend components from sentinel rows. The distinguished bits and pieces are checked for accordance to the normal law of distribution. All these steps are automatically performed using the R language. In addition, the analysis of the allocated balances for compliance with the normal distribution law was performed.

Prognostication of future values of indexes will carry out on the basis of the built model. For quality of prognosis control part of data (last periods) is excluded from an analysis, to have the opportunity to check adequacy of the got results when compared to the noticed values. The results of econometric modeling allowed to identify the main trends, as well as to make a forecast in the short term.

As a result of the study using the described procedure developed an adequate forecasting model for time series of different product markets, the verification of which showed sufficient accuracy and reliability of forecasts based on it, so it can be used in further research or analysis of products of different categories
Keywords: *modeling, time series, time series decomposition method,, forecasting, commodity markets, trend, seasonality*

Постановка проблеми. Сучасний стан економіки, який характеризується динамізмом, високим ступенем невизначеності навколишнього середовища, суттєвими технологічними перетвореннями, потребує кількісного оцінювання розвитку соціально-економічних процесів. Сьогодні кількість інформації зростає із неймовірною швидкістю, тому застосування нових програмних продуктів для аналізу та узагальнення цих даних є нагальною потребою. Здатність передбачати майбутні перспективи підвищує успішність економічної діяльності будь-якого підприємства. У зв'язку з цим прогнозування продажів того чи того продукту завжди залишається актуальною проблемою. Використання різних економіко-математичних методів і моделей, а також сучасних засобів обробки інформації дозволяють з високою надійніс-

тю і точністю прогнозувати економічні та фінансові показники підприємства, оптимізувати систему управління тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значну увагу різним аспектам моделювання економічних процесів та явищ, прогнозуванню їхнього розвитку присвятили у своїх роботах П. Черненко [2], О. Мартинюк [2], А. Е. Шуліков [1], М. А. Голованова [1], З. Каїра [3], Р. Хіндмана [4], Дж. Афанасопулоса [4], В. Кочкодана [5], С. Мастицького [11] та інших.

Метою дослідження є аналіз різних наборів часових рядів, які відображають обсяги продажів продуктів з різних сегментів товарних ринків, моделювання цих рядів і побудова прогнозів із застосуванням декомпозиційного методу і середовища R.

Аналіз і статистичний опис динаміки якого-небудь істотного колив-ного показника (ціни) починається з виявлення форми його тренда й статистичної оцінки його параметрів. Відповідно до визначення тренда, форма його об'єктивна й відбиває закономірності розвитку досліджуваного процесу [2]. Один з методів аналізу часових рядів є виокремлення складових часового ряду (тренду і періодичних коливань), які представляють його певну регулярну компоненту. Подібна процедура ідентифікації називається декомпозицією. Кожна компонента ідентифікується окремо. Потім внески кожної компоненти комбінуються з метою отримання прогнозів майбутніх значень часових рядів. Методи декомпозиції використовуються як для короткочасних, так і для довгострокових прогнозів. З їхньою допомогою також можна відображати закономірність, що лежить в основі тренду, або коригувати значення ряду, додаючи іншу компоненту.

Наприклад, при розгляді продажів різних товарів (чи то лікарських препаратів, чи будь-яких інших продуктів), дуже важливим є розуміння того, яка частка змінювання продажів, спричинена пенними тенденціями на ринку, а яку можна пояснити сезонним попитом на товар. Метод декомпозиції дає змогу виявляти чотири складові часового ряду:

- тренд (*T*);
- циклічна компонента (*C*);
- сезонна компонента (*S*);
- випадкова змінна (*I*) [5, с. 50-52].

Тренд (*T*) показує зміни у довгостроковому періоді, які спостерігаються в часовому ряді за умови, що інші компоненти виключені (циклічна, сезонна, випадкова). У більшості випадків передбачається, що тренд можна представити у вигляді прямої лінії (або експоненціальної, чи логарифмічної кривої) [4, с. 52-55].

Циклічна (*C*) компонента присутня не завжди. Вона відображає спади і («хвилі») в часовому ряді. Циклічні коливання, як правило, проявляються протягом досить тривалого часу — приблизно від трьох до п'яти років. Для деяких товарів (наприклад, для хліба) відзначаються незначні циклічні коливання, водночас продажі інших (наприклад, будівництво житла) зазнають істотних змін.

Сезонний фактор (*S*) часто спостерігається у квартальних, місячних або тижневих даних. Під сезонними варіаціями розуміють змінювання рівнів показника з більш-менш стабільною структурою в межах одного року.

Випадкова (*I*) компонента відображає коливання рівнів ряду, які спостерігаються після виключення впливу тренду, циклічного та сезонного факторів і спричинені впливом випадкових чинників [6, с. 32-33].

Функцію вихідного ряду можна представити в адитивній (1) або мультиплікативній формі (2):

$$y(t) = T(t) + C(t) + S(t) + I(t), \quad (1)$$

$$y(t) = T(t) * C(t) * S(t) * I(t). \quad (2)$$

Вибір однієї з двох моделей проводиться на основі аналізу структури сезонних коливань [7, с. 111-113]. Модель адитивних компонент застосовується в тому разі, коли аналізований часовий ряд має приблизно однакові зміни протягом всієї тривалості спостережень, тобто сезонні коливання є сталими і значення часового ряду прицьому мають певну тенденцію до зростання чи спадання. Мультиплікативна модель ефективніша, коли і коливання і часовий ряд збільшуються або ж навпаки зменшуються з часом [8, с. 21].

Моделювання та прогнозування часових рядів на основі декомпозиції

Для здійснення прогнозу нам потрібно провести передусім декомпозицію часового ряду. У нас є доступні 6 наборів даних: 2 ряди продажів снеків («Snack1», «Snack2»), вітамінний комплекс («Vitamin»), гель від від болю в ногах («Gel»), засіб від грипу («Flu») і жарознижуюче («Head»). «Snack1», «Snack2» і «Gel» — представлені помісячно за кілька років, а от «Vitamin», «Flu» та «Head» — потижнево.

Побудова прогнозної адитивної або мультиплікативної тренд-сезонної моделі передбачає такі кроки:

- згладжування даних методом ковзної середньої;
- визначення різниць між початковими даними і центрованими середніми, які характеризують сезонний чинник, а також середніх значень ряду;
- вилучення сезонної компоненти з початкового часового ряду;
- аналітичне вирівнювання десезоналізованого ряду для оцінювання трендової складової;
- обчислення невипадкової складової ряду (тренд і сезонність);
- обчислення випадкової складової ряду, аналіз залишків і перевірка адекватності моделі;
- прогнозування за моделлю та перевірка якості прогнозу [9, с. 1-5].

Усі зазначені кроки автоматично виконуються за допомогою мови *R*. Для проведення прогнозу використано адитивні підходи, а саме методику *STL*. Її можна застосувати до будь-якого набору даних, але значущі результати будуть отримані тільки в тому разі, якщо в даних є тимчасова закономірність, що повторюється (наприклад, препарати від кашлю є популярніші у холодну пору, а от солодка вода краще продається влітку, або є онлайн-шопінг зростає листопаді-грудні, коли настає Чорна П'ятниця чи починається передріздвяна гонитва за подарунками). Закономірність відображається у результаті функції *STL* як сезонна компонента.

Алгоритм *STL* згладжує часові ряди за допомогою LOESS у двох циклах; внутрішній цикл виконує ітерацію між сезонним згладжуванням і згладжуванням тренду, а зовнішній цикл мінімізує вплив викидів. У ході внутрішнього циклу сезонна компонента обчислюється перша та видаляється для обчислення компонента тренду. Залишок обчислюється шляхом віднімання сезонного та трендового компононентів із часових рядів.

Результати здійсненої декомпозиції часових рядів представлено на рис. 1.

Проведена декомпозиція підтверджує, що всі ряди мають тренди: — зростаючі, а третій — нелінійний і всі ряди мають яскраво виражену сезонність [10, с. 89].

Після розкладання часових рядів на складові необхідно перевірити залишки на відповідність закону нормального розподілу. Гістограми частот залишків часових рядів представленш на рис. 2.

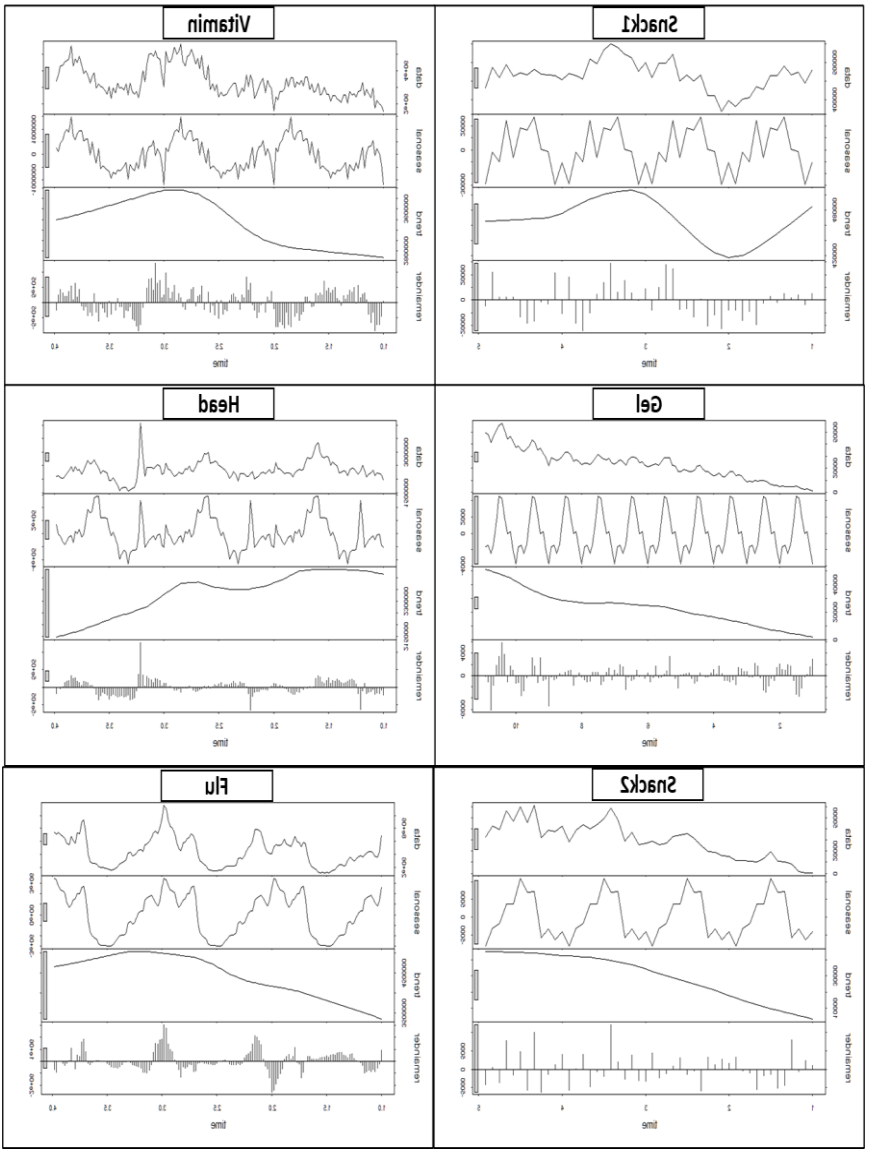


Рис. 1. Результати декомпозиції обсягів продажу часових рядів

Джерело: побудовано авторами на основі даних підприємства

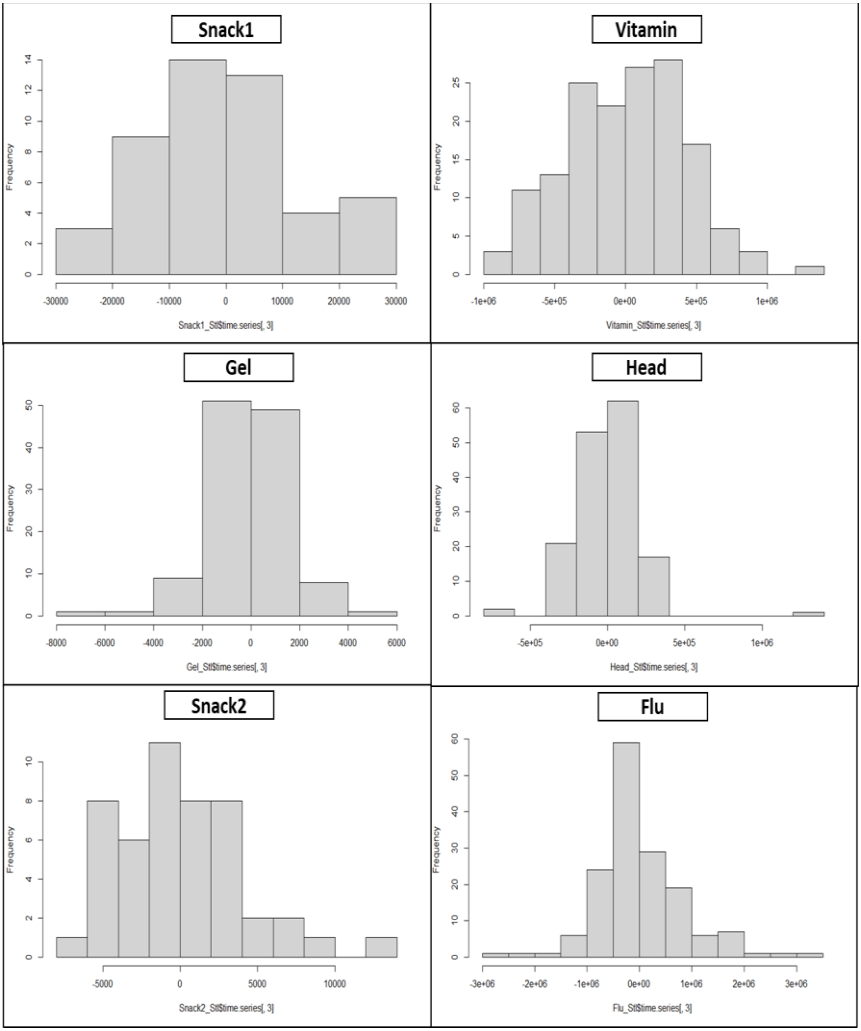


Рис. 2. Розподіл залишків часових рядів

Джерело: побудовано авторами на основі даних підприємства

Залишки моделей, згідно діаграм, представлених на рис. 2, мають розподіл, близький до нормального, отже моделі є адекватними і можуть бути застосовані для передбачення обсягів майбутніх продажів означених лікарських засобів.

Прогнозування майбутніх значень показників будемо здійснювати на підставі побудованої моделі. Для перевірки якості прогнозу частину даних (останні періоди) виключено з аналізу, щоб мати змогу перевірити адекватність отриманих результатів при порівнянні зі спостереженими значеннями. Отримані результати відображено на рис. 3.

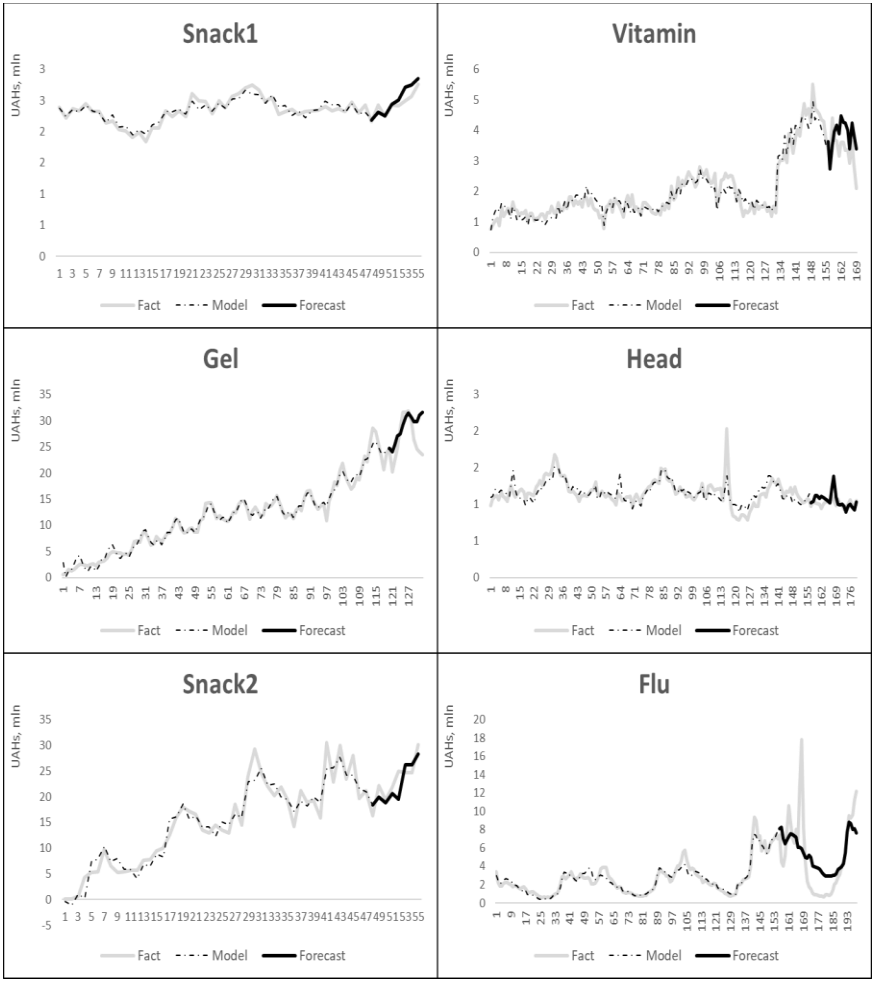


Рис. 3. Результати прогнозування обсягів продажу часових рядів

Джерело: побудовано авторами на основі даних підприємства

Як засвідчують наведені графіки, розбіжності між розрахованими та спостереженими даними для більшості показників є незначними. Але варто зазначити, що для препарату від грипу/простуди не вдалося точно відобразити стрибок у продажах, спричинений форс-мажорною ситуацією, що пов'язана з пандемією коронавірусу у 2020 році. Подібна ситуація спостерігається і для даних щодо продажів гелю від болю в ногах: модель не змогла досконало відтворити суттєве зростання рівнів показника у досліджуваний період. Інші ж чотири набори даних спрогнозовані досить точно, що засвідчує високі прогностичні властивості методу декомпозиції при передбаченні продажів різних продуктів. Однак, зважаючи на те, що у двох із шести випадків метод не спрацював ідеально, варто паралельно застосовувати декілька методів для підвищення точності прогнозу. Оскільки окрім тренд-сезонної складової є багато інших чинників, які можуть впливати на рівень продажів, наприклад, попит на продукцію, рівень дистрибуції, реклама тощо, моделі прогнозування слід комбінувавати при здійсненні прогнозу (особливо для довгострокових передбачень).

Висновки з проведеного дослідження. У статті розглянуто особливості моделювання і прогнозування часових рядів на основі використання методу декомпозиції у статистичному середовищі *R*. Було виокремлено складові шести різних часових рядів (тренду і періодичних коливань) і проведено дослідження. Для 4 рядів метод спрацював доволі точно і дав хороші результати. На підставі проведеної роботи можна стверджувати, що використання такого підходу дає змогу зменшувати вплив невизначенності при моделюванні динамічних процесів і досить точно прогнозувати економічну ситуацію на довільному ринку. Але важливим є розуміння того, що метод не є ідеальним і для підвищення точності результату його слід комбінувати з іншими способами передбаченнями. Запропоновані в роботі підходи можуть використовуватись аналітиками рекламних компаній, корпорацій для аналізу ринку, прогнозування ситуації в різних сегментах тощо.

Бібліографічні посилання

1. Статистичне дослідження часових рядів цін на B2B-ринку / А. Е. Шуліков, М. А. Голованова. *Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі*. 2011. № 2. С. 125–135. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eupmg_2011_2_13

2. Декомпозиція добового графіка електричного навантаження енергосистеми та моделювання його складових під час короткострокового прогнозування / П. О. Черненко, О. В. Мартинюк. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. № 6. С. 86–94. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2017_6_15

3. Каїра З. С. Прогнозування сезонного попиту в логістиці та маркетингу / З. С. Каїра. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. 2006. № 554: Проблеми економіки та управління. С. 134–138.

4. Forecasting: Principles and Practice. / Hyndman, Robin John; Athanasopoulos, George. 2nd ed. OTexts, 2018. 384 p.

5. Кочкодан В. Б. Теоретичні аспекти прогнозування структурних характеристик капіталу підприємства / В. Б. Кочкодан. *Інноваційна економіка*. 2014. № 2. С. 48-53.

6. Прогнозування та аналіз часових рядів. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи студентів спеціальності 051 «Економіка» освітня програма «Економічна кібернетика», «Економічна аналітика» / Укл.: Юрченко М. Є. Чернігів: ЧНТУ, 2018. 88 с.

7. Тебуева Ф.Б., Перепелица В.А., Кабиняков М.Ю. Декомпозиция и прогнозирование временных рядов с долговременными корреляциями. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. №1. 2013. С. 111 –120.

8. Кизбикенов, Кажимурат Оспанович Прогнозирование и временные ряды: учебное пособие / К. О. Кизбикенов; Алтайский гос. пед. ун-т. Барнаул: АлтГПУ, 2017. 113 с.

9. Шитиков В. Прогнозирование бинарных временных рядов [Електронний ресурс] / Владимир Шитиков. *Электронный журнал "Jahrbuch fur EcoAnalytic und EcoPatologic"*. 2019. Режим доступу до ресурсу: http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/R/Blog/13_BTS.pdf.

10. Венэбльз Д. М. Заметки по R: среда программирования для анализа данных и графики (Перевод с английского) / Д. М. Венэбльз, У. Н. Смит. Москва, 2013. 109 с.

11.Мастицкий С. Э. (2020) Анализ временных рядов с помощью R. — Электронная книга, адрес доступа: https://ranalytics.github.io/tsa-with-r.

Статтю подано до редакції 09.11.2021

ІНФОРМАЦІЙНЕ ПОВІДОМЛЕННЯ

17-19 жовтня 2021 року в ДВНЗ «Київському національному економічному університеті імені Вадима Гетьмана» на кафедрі комп'ютерної математики та інформаційної безпеки було організовано **7-му науково-практичну конференцію «Інтелектуальні методи аналізу загроз кібербезпеки»**. У конференції прийняли участь більше 100 студентів спеціальностей "Системний аналіз", "Кібербезпека" та інших. Студенти виступили з доповідями і продемонстрували науково-пізнавальні фільми власного виробництва. Студенти та викладачі з натхненням займалися науковою роботою згідно традицій, що склалися на кафедрі комп'ютерної математики та інформаційної безпеки.

ПРОГРАМА

Форма проведення: Online. Платформа Zoom
Дата: 17 листопада 2021 р.

1	**09:00**	**Вступне слово** **Джалладова І.А.** д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки	
2	09:10	Жук Д. В. ІА-201	**Роздуми щодо чисельності населення за допомогою теорії диференціальних рівнянь** Науковий керівник: Джалладова І. А.
3	9:20	Грабар М. В., Харьков Г. Д. ІК-201	**Метод визначення та ідентифікації даних мережі TOR аналізатором Wireshark** Науковий керівник: Джалладова І. А.
4	09:30	Жигун Б. С. ІК-201	**Мистецтво маскування зловмисних веб-сайтів** Науковий керівник: Камінський О. Є.
5	09:40	Кунєва К. Р. Франчук С. В. ІА-301	**Візуальний аналіз даних — кіберзагрози ПЗ** Науковий керівник: Мамонова Г. В.
6	09:50	Остапенко В. О. ІА-201	**Математика та криптографія** Науковий керівник: Мамонова Г. В.
7	10:00	Кисельов Є. О., Демченко А. О., Сальникова Ю. А., Мамонов Р. О., Сидорук Н. Ю. ІК-102	**Алгоритми шифрування криптовалют** Науковий керівник: Чугаєва О. В.
8	10:10	Агєєв О. А., Нагришко Р. О. ІК-301	**Сучасні проблеми кібербезпеки** Науковий керівник: Мамонова Г. В.

9	10:20	Борисов Б. О. Древич А. Г. ІК-102	**Вітчизняні операційні системи, як елемент інформаційної стратегії розвитку України** Науковий керівник: Потапенко С. Д.
10	10:30	Сімонов В. Д. ІК-101	**Алгоритми шифрування (симетричні , асиметричні, гібридні)** Науковий керівник: Дем'яненко В.В.
11	10:40	Палагін В. О. ІК-201	**Мережеві служби з погляду зловмисника** Науковий керівник: Мамонова Г. В.
12	10:50	Петрук Н.С., Марциновський С. М., Моргушко В. С. ІК-201	**Використання штучного інтелекту та машинного навчання в інфраструктурі кібербезпеки** Науковий керівник: Камінський О. Є.
14	11:00	Бондаренко О. І. ІК-102	**Алгоритм боротьби з вірусами для звичайних користувачів** Науковий керівник: Дем'яненко В. В.
15	11:10	Сіденко Д. С.	**Алгебраїчні рівняння вищих степенів та їх використання в математичному аналізі** Науковий керівник: Батечко Н. Г.
16	11:20	Татарин М. В. ІК-102	**Сучасні операційні системи** Науковий керівник: Потапенко С. Д.
17	11:30	Карєва А. А. Петриченко А.В. Сіманішина М.Ю. Шинкаренко В.В. Кобяков І. П. Тарадай М.В. Атаманенко А.В. Дорохіна А.О. Старіна Е.І Тодоров І.В. ІА-201	**Ігри за правилами теорії ймовірності** Науковий керівник: Мамонова Г. В.
18	11:40	Зоненко Д. С.	**Використання теорії фракталів для шифрування та дешифрування зображень** Науковий керівник: Чугаєва О. В.
19	11:50	Корж Є. С.	**Що ми знаємо про нуль в нульовій степені** Науковий керівник: Батечко Н. Г.
20	12:00	Кащук Т. Л.	**Програмні продукти при зображенні графіків функції** Науковий керівник: Батечко Н. Г.
21	12:10	Ліпський І. І.	**Впровадження операційних систем з відкритим кодом у державних установах країн Евросоюзу** Науковий керівник: Потапенко С. Д.
22	12:20	Тарадай Марія Вячеславівна ІА-201	**Застосування теорії ймовірностей у психології** Науковий керівник: Лютий О. І.
23	12:30	Підведення підсумків	

Форма проведення: Online. Платформа Zoom
Дата: 18 листопада 2021 р.

1	**13:00**	**Вступне слово** **Джалладова І.А.** д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки
2	13:10	Перегляд казки «Атака на громадянський транспорт» від студентів 1 курсу спеціальності «Кібербезпека»: Дерев'янчук А. ІК-101 Іващенко М. ІК-101 Норець А. ІК-101 Сімонов В. ІК-101 Клімук А. ІК-101 Галата А. ІК-101 Ідяртов О. ІК-101 Бобров А. ІК-102 Заярна Д. ІК-102 Кисельов Є. ІК-102 Голота В. ІК-102 Сальникова Ю. ІК-102 Шпак А. ІК-102
2	13:25	Обговорення
3	13:30	Перегляд казки «Про кільце» від студентів 1 курсу спеціальності «Системний аналіз»: Бичок А. ІА-101 Литвин Н. ІА-101 Ліщенко С. ІА-101 Сахань Г. ІА-101 Соколюк Є. ІА-101 Трачук Р. ІА-101 Харевська Л. ІА-101
4	13:45	Перегляд казки «Радіохулігани» від студентів 1 курсу спеціальності «Системний аналіз»: Перегняк Н. ІА-102 Сусло Т. ІА-102 Тереб В. ІА-102 Завадська В. ІА-102 Савчук Б. ІА-102 Медвідь А. ІА-102 Хлібовський С. ІА-102 Процькова К. ІА-102 Мироновський М. ІА-102 Комаровський Д. ІА-102 Лавроненко Б. ІА-102
4	14:00	Обговорення

5	14:05	Перегляд «Інтерв'ю від студентів 2-го курсу спеціальності «Кібербезпека»: Жигун Б. ІК-201 Моргушко В. ІК-201 Палагін В. ІК-201 Курсеітов О. ІК-201 Оштук Ю. ІК-201 Козічева І. ІК-201 Деркач А. ІК-201
6	14:15	Перегляд відео-доповідей «Кібербезпека для мене» від студентів 2 курсу: Грабар М. ІК-201 Ляшко К. ІК-201 Харьков Г. ІК-201 Ясинська А. ІК-201
7	14:30	Обговорення
8	14:35	Перегляд відео «Інтерв'ю з майбутніми системними аналітиками КНЕУ ІІТЕ» від студентів 2 курсу: Сіманішина М. ІА-201 Карєва А. А. ІА_201 Тарадай М. ІА-201 Тодоров І. ІА-201 Старіна Е. ІА-201 Чміль А. ІА-201
9	14:50	Перегляд відео «Очікування та реаліїї від спеціальності системний аналіз» від студентів 2 курсу : Дубова А. ІА-201 Петриченко А. ІА-201 Єсипчук Д. ІА-201 Донченко А. ІА-201 Остапенко В. ІА-201 Гавлицький М. ІА-201 Атаманенко А. ІА-201 Тодоров І. ІА-201 Старіна Е. ІА-201
10	15:00	Підведення підсумків

Форма проведення: Online. Платформа Zoom
Дата: 19 листопада 2021 р.

1	**15:30**	**Вебінар** Для студентів та викладачів від ментора, Softserve IT academy — української IT компанії, що працює у сфері розробки програмного забезпечення та надання консультаційних послуг.

Був проведений конкурс серед студентів 1-го та 2-го курсів на найкраще підготовлене відео. Вітаємо переможців за результатами голосування:

- Перше місце (95 голосів) студенти 1-го курсу спеціальності «Кібербезпека» за відео “Казка «Атака на громадянський транспорт»“
- Друге місце (60 голосів) студенти 1-го курсу спеціальності «Системний аналіз» за відео “Казка «Про кільце»“
- Третє місце (26 голосів) студенти 2-го курсу спеціальності «Кібербезпека» за відео «Інтерв’ю від студентів 2-го курсу спеціальності «Кібербезпека»

Моделювання та інформ. системи в економіці : зб. наук. праць / відп. ред. О. Є. Камінський. 2021. № 101. 1. — 200 с.

Для нотаток

Для нотаток

Для нотаток