

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

ІНФОРМАЦІЙНІ УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

Монографія

Авторський колектив

Устенко С. В., д.е.н., проф., Рамазанов С. К., д.е.н., д.т.н., проф., Степаненко О. П., д.е.н., проф., Іванченко Г. Ф., к.т.н., проф., Сендзюк М. А., к.е.н., проф., Ситник Н. В. к.е.н., проф., Шевченко К. Л., д.т.н., проф., Рінна С. П. д.е.н., проф., Тишков Б. О., к.е.н., доц., Галузинський Г. П., к.т.н., доц., Городній О. В., к.т.н., доц., Денісова О. О., к.е.н., доц., Гордієнко І. В., к.е.н., доц., Краснюк М. Т., к.е.н., доц., Курков М. С., к.е.н., доц., докторант, Помазун О. М., к.е.н., доц., Зінов'єва І. С., к.е.н., доц., Держук О. В., к.е.н., доц., Кривошеєв К. В., к.т.н., доц., Бібко О. О., асис., Кустаровський О. Д., асп., Рінна М. Б., к.е.н., доц., Гіваргізов І. Г., асп., Погореловська І. Д., к.е.н., доц., Бадер Омар Ахмад Далайін, к.е.н. (Йорданія)

Рецензенти

Дивак М. П. докт.техн.наук, проф.

Тернопільський національний економічний університет

Горбовий А. Ю. докт.техн.наук, проф.

Інститут інформаційних технологій Державної фіскальної Служби України

Джаладова І. А. докт.фіз.-мат.наук, проф.,

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана

Рекомендовано до друку Вченою радою КНЕУ

Протокол № 10 від 30.05.2019

I-74

**Інформаційні управляючі системи та технології / За заг. ред. докт. екон. наук, професора Устенко С. В. — Київ : КНЕУ, 2019. — 419 с., [5] с.
ISBN 978-966-926-307-0**

У монографії розглянуто концепції та методології проектування та розвитку інформаційних управляючих систем на підприємствах, у наукових інститутах, ІТ-сфері, виробництві, логістиці, освітньому процесі; методи, моделі та алгоритми вирішення завдань управління високотехнологічних виробничих систем, систем еволюційного прогнозування синергетичного ефекту злиття та поглинання підприємств, інтелектуальних систем прийняття рішень; принципи та стратегії проектування інформаційних систем з використанням технологій криптоекономіки та блокчейн, інформаційно-комунікаційних технологій підтримки інформаційної безпеки систем, створення гібридних інтелектуальних систем; упровадження технічних аспектів підвищення надійності пам'яті, методів отримання вимірювальної інформації, розроблення спеціалізованих систем цифрової обробки інформації.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, студентів, спеціалістів, які займаються проблемами впровадження сучасних технологій при проектуванні та впровадженні інформаційних систем в управлінні підприємствами, організаціями, а також в ІТ-бізнесі, освіті.

УДК 004.9:33:62

*Розповсюджувати та тиражувати
без офіційного дозволу КНЕУ заборонено*

ISBN 978-966-926-307-0

© Колектив авторів, 2019
© КНЕУ, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ	
КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮ- ЧИХ СИСТЕМ <i>Устенко С. В.</i> , д.е.н., проф., <i>Курков М.С.</i> , к.е.н., доц., докторант	7
КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМА- ЦІЙНИМИ РЕСУРСАМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДІЯЛЬНОСТІ УНІВЕРСИТЕТУ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ <i>Степаненко О. П.</i> , д.е.н., проф.	26
КОНЦЕПЦІЯ ТА МЕТОДОЛОГІЇ СИСТЕМНОГО ІНЖИНІРИНГУ <i>Денісова О. О.</i> , к.е.н., доц.	50
КОНЦЕПЦІЯ ТА МЕТОДОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ АДАП- ТИВНОЇ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ <i>Краснюк М. Т.</i> , к.е.н., доц. <i>Кустаровський О. Д.</i> , асп.	75
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ	
МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА СТВО- РЕННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ <i>Устенко С. В.</i> , д.е.н., проф., <i>Тішков Б. О.</i> , к.е.н., доц., <i>Зінов'єва І.С.</i> , к.е.н., доц., <i>Помазун О. М.</i> , к.е.н., доц., <i>Бірко О. О.</i> , асис.	84
СИНТЕЗ СИСТЕМИ ЕВОЛЮЦІЙНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СИНЕРГЕТИЧНОГО ЕФЕКТУ ЗЛИТТЯ ТА ПОГЛИНАННЯ ПІДПРИЄМСТВ <i>Іванченко Г. Ф.</i> , к.т.н., проф., <i>Бадер Омар Ахмад Далайін</i> , к.е.н. . .	148
ДОСЛІДЖЕННЯ СУТНОСТІ ТА ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНИМИ ФІ- НАНСАМИ З ПОЗИЦІЇ ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЇ <i>Сендзюк М. А.</i> , к.е.н., проф., <i>Держук О. В.</i> , к.е.н., доц.	165
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ ЕКСПЕРТНИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РИЗИКУ <i>Кривошеєв К. В.</i> , к.т.н., доц.	201

ІНТЕРАКТИВНА ПРОЦЕДУРА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ <i>Галузинський Г. П., к.т.н., доц.</i>	213
СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПАМ'ЯТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ <i>Городний О. В., к.т.н., доц.</i>	223
МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ І ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ ДОСТОВІРНОСТІ <i>Шевченко К. Л., д.т.н., проф.</i>	254

РОЗДІЛ 3. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОГЕННИМ ПРОМИСЛОВИМ ОБ'ЄКТОМ В УМОВАХ ЗМІШАНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ <i>Рамазанов С. К., д.т.н., д.е.н., проф.</i>	271
ІСО ЯК ІНВЕСТИЦІЙНИЙ ВИМІР КРИПТО-ЕКОНОМІКИ <i>Ріппа С. П., д.е.н., проф., Ріппа М. Б., к.е.н., доц. каф. фінансів УДФСУ (Ірпінь)</i>	293
РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ BIG DATA І DATA MINING ЯК ВАЖЛИВОЇ АНТИКРИЗОВОЇ СКЛАДОВОЇ РОЗРОБЛЕНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ ПОЛІТИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОГО БІЗНЕСУ <i>Краснюк М. Т., к.е.н., доц. Кустаровський О. Д., асп.</i>	316
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є <i>Устенко С. В., д.е.н., проф., Тішков Б. О., к.е.н., доц., Погореловська І. Д., к.е.н, доц.</i>	337
СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ КОНЦЕПЦІЇ БАЗ ДАНИХ <i>Ситник Н. В., к.е.н., проф.</i>	353
ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙНУ <i>Гордієнко І. В., к.е.н., доц.</i>	376
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ БАНКІВСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ <i>Гіваргізов І. Г., асп.</i>	404

ВСТУП

Досвід провідних країн світу свідчить про те, що успіх у соціальній, економічній і технічній діяльності держави в сучасних умовах глобалізації світової економіки значною мірою забезпечується завдяки високим темпам інноваційно-інвестиційного розвитку науково-технічного, виробничо-технологічного потенціалів, високому рівню конкурентоспроможності національної високотехнологічної продукції за рахунок упровадження сучасних виробничих та особливо створення та використання інформаційних управляючих систем і технологій на світовому ринку. Тому проблема розвитку інноваційно-інвестиційного потенціалу національної науки та його раціональне використання в різних сферах людської діяльності залишається актуальною. Інноваційний шлях розвитку за своїм змістом має бути інноваційним проектом як економіки, техніки, так і суспільства загалом.

У сучасному постіндустріальному суспільстві особливу роль відіграють інформаційні технології та комп'ютеризовані системи, високі наукомісткі технології Індустрія 4.0, такі технології та концепти, як штучний інтелект, робототехніка, інноваційне та високотехнологічне виробництво, Інтернет речей, «великі дані» (bigdata), «предиктивна аналітика», хмарні та туманні обчислення, «машинне навчання», машинна взаємодія, інвестиційні форми розвитку ІСО-проектів у криптоекономіку й технології блокчейн, доповнена реальність для створення інформаційних систем в управлінні IT-інфраструктур економічних і технічних об'єктів.

У запропонованій науковцями монографії розглянуті концептуальні, методологічні та організаційні засади створення різних класів інформаційних управляючих систем і технологій в економіці, техніці, освіті. В освіті зі значної частини фахівців галузі знань «Інформаційні технології» в заданій предметній сфері особливо важливо готувати таких, які володіють ґрунтовними знаннями та здатні креативно мислити щодо технологій майбутнього — *технологій проектування інформаційних управляючих систем і систем штучного інтелекту*. Адже використання методів і засобів штучного інтелекту уможливорює моделювання стану об'єкта за умов невизначеності та мінливості зовнішнього сере-

довища, пошуку прихованих залежностей у надвеликих масивах даних, передбачення кризових станів, ситуацій, явищ і дає змогу на основі методології проектування систем штучного інтелекту суттєво підвищити ефективність управлінських рішень і загалом економічну ефективність підприємств та організацій.

У *першому розділі* розглянуті концепції та методології функціонування та розвитку інформаційних управляючих систем на підприємствах, у наукових інститутах, ІТ-сфері, виробництві, логістиці, освітньому процесі. Проведено аналіз, визначені перспективні тенденції розвитку проблеми системного та програмного інжинірингу систем на основі використання моделє-зорієнтованого підходу.

У *другому розділі* розглянуто методи, моделі та інформаційні технології проектування інформаційних управляючих систем при створенні високотехнологічних виробничих систем, систем еволюційного прогнозування синергетичного ефекту злиття та поглинання підприємств, систем прийняття експертних рішень в умовах невизначеності та ризику. Запропоновані технічні аспекти отримання вимірювальної інформації, що засновані на використанні методів періодичного порівняння та підвищення точності каналів перетворення інформації інформаційних управляючих систем, способи та засоби підвищення достовірності зберігання інформації в запам'ятовуючих пристроях.

У *третьому розділі* розглянуто перспективи використання та розвитку інформаційних систем і технологій у різних сферах економічної діяльності. Сформовано методологічні основи, принципи та стратегії проектування інформаційних систем з використанням технологій криптоекономіки та блокчейн, порівняльного аналізу їх криптовалют та інструментальних засобів інвестування крипто-проектів на основі ICO, інвестування створення гібридних інтелектуальних систем, що функціонують в умовах змішаної невизначеності, використання сучасних напрямів розвитку концепції баз даних, інформаційно-комунікаційних технологій підтримки інформаційної безпеки систем, розроблення спеціалізованих систем цифрової обробки інформації.

КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ

**Устенко С. В., д.е.н., проф.,
Курков М. С., к.е.н., доц., докторант**

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ

Концепція орієнтована на впровадження, підвищення ефективності проектних рішень інформаційних систем і компонентів, їх розробку та вдосконалення з використанням сучасних інформаційних технологій у науці, техніці на промислових та інфраструктурних об'єктах економіки, зокрема на виробничо-економічних підприємствах у транснаціональних компаніях, фінансово-промислових групах, концернах, холдингах тощо на вітчизняному ринку праці та подальший розвиток у навчальному процесі Державного вищого навчального закладу «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» Освітньої програми й спеціалізації спеціальності **122 «Комп'ютерні науки»** галузі знань **12 «Інформаційні технології»**.

Освітня програма **«Інформаційні управляючі системи та технології»** ґрунтується на основі наукових теорій, концепцій, принципів з урахуванням сучасних тенденцій у сфері створення інформаційних управляючих систем. Головна увага приділена формуванню навичок і знань з інтелектуальних інформаційних технологій, математичного та комп'ютерного моделювання процесів і явищ, проектування, оптимізації, системного аналізу та прийняття управлінських рішень, аналізу знань і даних великих масивів. Фахівці спеціалізації «Інформаційні управляючі системи та технології» здатні проектувати, створювати й експлуатувати комп'ютеризовані системи для аналізу, управління та проектування динамічних процесів у технічних, технологічних, екологічних, соціальних і фінансових системах та об'єктах.

Об'єктами дослідження зі спеціальності «Комп'ютерні науки» спеціалізації «Інформаційні управляючі системи та технології» є:

- об'єкти та процеси комп'ютеризації — бізнес-процеси та дискретні виробничі процеси на підприємствах, в організаціях та установах;

- відтворення фізичних процесів та явищ заданих технічних об'єктів на основі сучасної мікроконтролерної елементної бази та прикладного програмного забезпечення;

- інтелектуальні процеси та системи;

- процеси управління організаційно-технічних систем;

- технологічні об'єкти керування виробництвом;

- інформаційні процеси, пов'язані з маркетингом і бізнесом виробничих систем;

- інформаційні процеси, пов'язані з банківсько-фінансовою сферою;

- інформаційно-комунікаційні процеси надання послуг через електронні мережі;

- процеси та процедури обробки даних;

- процеси забезпечення всіх фаз життєвого циклу систем обробки даних і підсистем забезпечення (база даних, сховище даних, база знань, локальні обчислювальні мережі, глобальні обчислювальні мережі та ін.);

- процеси адміністрування програмно-технічного забезпечення систем.

Як свідчить світова практика, з низки фахівців галузі знань «Інформаційні технології» в заданій предметній області особливо важливо готувати таких, які володіють ґрунтовними знаннями та здатні креативно мислити щодо технологій майбутнього — *технологій проектування інформаційних управляючих систем і систем штучного інтелекту*. Адже використання методів і засобів штучного інтелекту уможливило моделювання стану об'єкта за умов невизначеності та мінливості зовнішнього середовища, пошуку прихованих залежностей у надвеликих масивах даних, передбачення кризових станів, ситуацій, явищ і дає змогу на основі методології проектування систем штучного інтелекту суттєво підвищити ефективність управлінських рішень і загалом економічну ефективність підприємств та організацій.

1. Актуальність і проблематика розвитку інформаційних управляючих систем

Державні цільові програми й програми розвитку галузей економіки, окремих регіонів і сфер суспільного життя України спря-

мована на проведення заходів, що сприяють ефективній співпраці між Україною та Європейським Союзом. Розвиток літакобудівної та космічної галузей, машинобудування, військової техніки, агропромислового комплексу, інформаційних технологій дає змогу збільшити експорту продукції високотехнологічних галузей, ефективно проводити інформатизацію процесів соціально-економічного розвитку, здійснювати реструктуризацію пріоритетних галузей економіки. Дослідження необхідно зосереджувати на розробці нових промислових моделей і стратегій, що охоплюють всі аспекти, які стосуються виробничих процесів і всього життєвого циклу розробки високотехнологічної продукції, адаптації *передових методів і засобів штучного інтелекту* до розробки інформаційних систем. Дослідження повинні концентруватися на інформаційних управляючих системах, здатних швидко реагувати, адаптуватися й попереджати запити споживачів на зовнішні умови, а також гнучко перебудовуватися на випуск різних партій високотехнологічної продукції. Інтеграція знань і технологій з урахуванням безпеки, соціальної відповідальності й життєздатності є необхідною для прискорення перетворень у європейській промисловості й економіці України. В основу економіки знань покладено нові знання, що мають інформаційну основу й втілюються в інноваціях і які у високорозвинених економіках через новітні технології та відповідну продукцію забезпечують у кінцевому підсумку значний приріст ВВП.

Економіка як система є складним об'єктом, який утворений з підсистем, різноманітних за своїми властивостями, і між ними існує значна кількість різноманітних зв'язків. Розвиток економіки складається з процесів, які істотно залежать від багатьох зовнішніх чинників — фінансових, технологічних, інтеграційних, ринкових, законодавчих, соціальних, політичних. Тому доцільно застосовувати інноваційні методи як найсучасніші розробки. Найбільш значущі результати в цій сфері пов'язані із засобами штучного інтелекту.

Сучасні досягнення в мікроелектроніці, мікроелектромеханіці, наноелектроніці, молекулярній біології та фотоніці дають новий потужний стимул для інтенсивного розвитку різноманітних напрямів штучного інтелекту, розробки й широкого використання інтелектуальних інформаційних управляючих систем для вирішення задач, які важко підлягають формалізації, до них належать різноманітні економічні задачі. Вирішення економічних та фінансових завдань на підприємствах і в державі пов'язано з певними труднощами.

2. Методи та моделі в інформаційних управляючих системах і технологіях

Для вирішення *структурованих задач*, у яких співвідношення між елементами інформаційних управляючих систем можуть набувати числових значень чи символів, доцільно використовувати кількісні методи аналізу: лінійного, нелінійного, динамічного програмування, теорії масового обслуговування, а також теорії ігор, тобто методологію та елементи інструментарію, що дістали назву «дослідження операцій».

Задачі з управління економікою та економічними об'єктами належать до класу *слабоструктурованих* [1, 2]. Для вирішення цього класу задач, що характеризуються насамперед якісними (вербальними), а також кількісними залежностями між елементами досліджуваної системи (підприємство, компанія, фірма, банк тощо) і зовнішнім середовищем доцільно застосовувати математичні моделі на підґрунті використання інструментарію нечітких множин і нечіткої логіки, нейронних мереж, еволюційних алгоритмів (генетичні алгоритми, еволюційне програмування, еволюційні стратегії, генетичне програмування, теорему про схеми (основна теорема про генетичні алгоритми)), поєднання кількісних методів дослідження операцій, методології та інструментарію ризикології, евристичних методів, застосування інструментарію штучного інтелекту, зокрема й підходи колективного штучного інтелекту. Крім того, широкого застосування набули гібридні системи, зокрема нечіткої логіки та штучних нейронних мереж; генетичних алгоритмів і штучних нейронних мереж тощо. Використовуються багатоцільові багатокритеріальні задачі прийняття рішень за нечітких умов, вироблення рішень з використанням нечітких множин, нечітка багатокритеріальна ієрархічна модель прийняття рішень.

Для прогнозування фінансів держави та інших економічних об'єктів в інтелектуальній системі використовується метод DMFA (Directions for Modeling and Forecasting Algorithm). Цей метод є ефективною моделлю авторегресії (AR) як загальна система реалізацій часових рядів для обчислення коефіцієнтів, які відповідають моделі для кращого прогнозування. Система вирішується за допомогою інноваційної техніки інверсії, що дає змогу уникнути явної інверсії більш як 2×2 матриці й обчислення вищих розмірних визначників і спів-факторів. Крім того, можна оновити велику кількість параметрів, а модель повторно встановити, щоб зменшити помилки прогнозування. Модель може бути запропонована для задач оптимізації фінансового портфеля, що включає пакет цінних паперів.

Цей метод підходить для навчання й використання в системі управління нейромережі для прийняття рішень з управління фінансовими інструментами та збільшення доходу держави. Система штучного інтелекту для управління інноваційним розвитком вимагає навчання на якісних даних. Вона передбачає навчаючу систему, тобто сховище даних або базу знань, безпосередньо нейромережу та об'єкт управління — держава чи підприємство.

Схему використання штучного інтелекту в моделюванні процесу управління наведено на рисунку 1.



Рис. 1. Штучний інтелект у моделюванні процесу управління систем

Існуючі на сьогодні економіко-математичні методи та моделі певною мірою допомагають досліджувати окремі проблеми й динаміку розвитку складних динамічних систем, розглядати множину альтернативних рішень, кожне з яких описується доволі великою кількістю змінних, урахувати різноманітні ризики, ухвалювати ефективні рішення за умов обмеженого часу та інших ресурсів, але їх недостатньо для ефективного прийняття рішень в умовах невизначеності та швидких змін в економіці, поведінці ринків фінансів і капіталу, технічних об'єктів.

Основним недоліком під час моделювання економічних і фінансових процесів діяльності економіки держави є недостатня увага дослідників до загальних проблем економіки, зокрема сталого

розвитку. На рис. 2. наведемо схему класифікації інформаційних управляючих систем відповідно до видів прикладних задач.

Для вирішення *неструктурованих задач* (рис. 2) [1, 2], що містять лише вербальний опис деяких з найважливіших ресурсів, ознак і характеристик (що є змінними та параметрами задачі), кількісні залежності між якими в явному вигляді невідомі, доцільно використовувати методи й моделі штучного інтелекту (евристичних методів, які ґрунтуються на інтуїції, логіці, теоретичних міркуваннях, досвіді, професіоналізмі особи чи колегіального органу — суб'єкта управління). До їх складу входять експертні методи й моделі, а також нейро-нечіткі моделі. Важливу роль відіграють діалогові процедури, системний аналіз, аспекти багатоцільової багатокритеріальної оптимізації та прийняття рішень тощо.

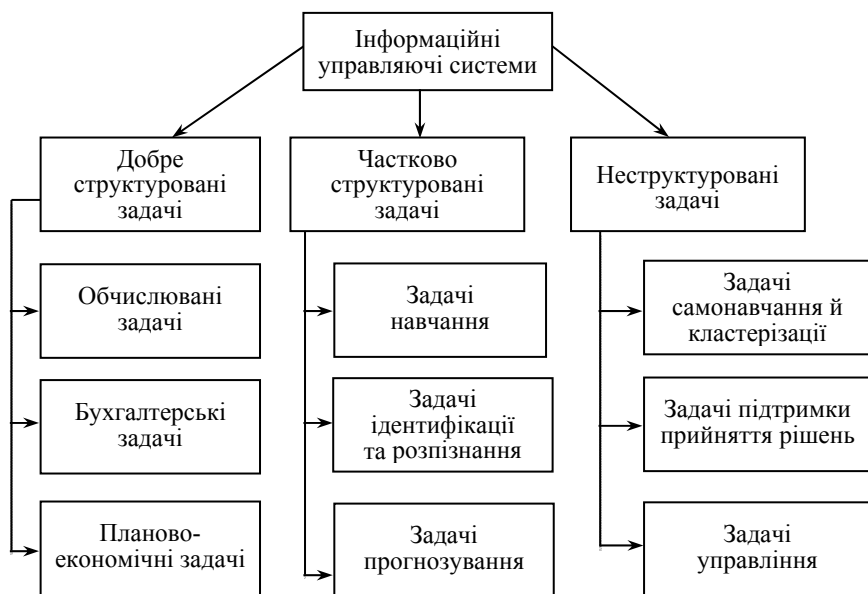


Рис. 2. Класифікації інформаційних управляючих систем відповідно до видів задач

Важливу роль при проектуванні системи відіграють аналіз та оцінювання ризику в прийнятті рішень (організаційне супроводження та методологічне забезпечення ризик-менеджменту, використання міжнародних стандартів управління ризиком, процес якісного та кількісного оцінювання ризиків).

Задачі управління економікою відповідно до теорії систем і теорії управління інноваційного розвитку держави та інвестиційної діяльності належать до неструктурованих. При вирішенні таких задач традиційні економіко-математичні методи, математичне програмування, теорія дослідження операцій не завжди спрацьовують ефективно. У сучасних умовах розвитку економіки при впровадженні інновацій взагалі виникають ризики прийняття катастрофічних для держави рішень.

Вихід підвищення ефективності управління економікою зводиться до використання систем і засобів штучного інтелекту. Системи штучного інтелекту реалізують усе більше функцій, які раніше виконувалися тільки людиною, таких як: отримання нових знань з фактів, виявлення причинно-наслідкових взаємозв'язків між факторами, що діють на об'єкт, і переходом цього об'єкта в ті чи інші стани. Але в основі будь-якої математичної моделі, реалізованої в системах штучного інтелекту, завжди лежить якесь уявлення про те, яким чином здійснюються аналогічні процеси людиною. Інтелектуалізація інформаційних систем управління й трансформація їх в *інтелектуальні інформаційні системи* управління знаннями, системи підтримки прийняття рішень є найбільш значущим і важливим напрямом для економіки.

Розробка концепції розвитку інформаційних систем пов'язана з використанням методів і засобів штучного інтелекту в управлінні економікою та інноваційним розвитком держави, а саме створення різноманітних інтелектуальних систем для різних галузей економіки, фінансів, техніки.

У фінансовому секторі до управління інноваційним розвитком економіки можна віднести ефективно управління фінансовими потоками, такими як залучення коштів на зовнішніх і внутрішніх фінансових ринках шляхом приватного розміщення боргових і пайових цінних паперів (акцій та облігацій), отримання коштів до державного бюджету від державних підприємств, а також ефективний розподіл уже отриманих коштів, інвестування та реінвестування отриманого прибутку держави, розподіл коштів між секторами економіки, виробничими системами. Дуже новітнім є використання засобів штучного інтелекту для цих задач. У практичній діяльності управління розвитком економіки на державному рівні вказана вище концепція не використовується. На сьогодні не можна навести жодного ефективного прикладу вітчизняних систем штучного інтелекту для управління економікою та інноваційним розвитком. Найбільш використовувані ERP і MRP системи не є засобами штучного інтелекту. На рис. 3 наведено

перелік систем штучного інтелекту та проведено аналіз найпридатніших для ефективного управління інноваційним розвитком держави та економіки.

До найпридатніших для розв’язання неструктурованих задач належить третя група систем, тобто системи, які *здатні навчатися, а саме нейромережі та генетичні алгоритми*.

Результатом концепції є розробка інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень управління інноваційним розвитком економіки, які здатні автоматизувати процеси прийняття рішень у сфері управління, що робить дослідження актуальним і своєчасним на певному етапі розвитку інформаційних технологій.

Дослідження будуть орієнтовані на розробку моделей інтелектуальних систем управління інноваційним розвитком економіки, побудову структур баз знань та інтегрованої бази знань. Інтегрована база знань повинна містити інформацію про попередні періоди діяльності держави, галузей економіки, виробничих систем, тобто всі їх процеси отримання та розподілу ресурсів держави.



Рис. 3. Види систем штучного інтелекту

Серед задач управління фінансами державного сектора найактуальнішою є задача розподілу капіталу, ураховуючи, що його операційний цикл включає дві фази трансформації капіталу, результати яких практично повністю визначаються ринковою кон'юнктурою при купівлі ресурсів і продажу продукту.

Концепція розвитку інформаційних управляючих систем із застосуванням засобів штучного інтелекту передбачає отримання результатів дослідження на економічні суб'єкти та об'єкти як на інтегровану виробничу систему (рис. 4), наприклад корпорацію. При цьому сучасна корпорація організовує свою виробничу й фінансову діяльність на основі коротко- та довгострокового планування.

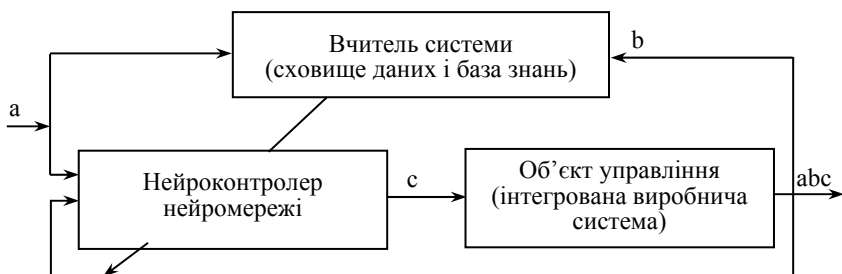


Рис. 4. Загальна схема системи управління інноваційним розвитком держави з нейроконтролером, який навчається

Короткострокове планування пов'язане з поточною діяльністю, здебільшого з рухом оборотного капіталу й складанням прогностичної фінансової звітності на наступний рік. Великі корпорації складають перспективні програми розвитку на 10–15 років.

Функціонування та розвиток інтегрованих виробничих систем вимагає впровадження довгострокових програм життєдіяльності, метою яких є забезпечення виконаних виробничих завдань, примноження добробуту, зміцнення позицій компанії в конкурентному середовищі. Це зумовлює необхідність розробки фінансової стратегії інтегрованих виробничих систем, що є важливим елементом фінансового менеджменту. Розробка стратегії вимагає послідовного виконання кроків відповідно до плану розвитку.

Генетичні алгоритми знаходять широке застосування при вирішенні задач прийняття рішень у проектуванні та управлінні складними виробничими та технічними системами, у розпізнаванні образів і в інших соціально-економічних галузях. У результаті впровадження концепції буде розроблено в подальших наукових

дослідженнях низку нових генетичних алгоритмів і проведено теоретичний та експериментальний аналіз трудомісткості пошуку рішень заданої якості у впливу властивостей операторів генетичного алгоритму на ефективність пошуку інформації та прийняття виважених управлінських рішень. Будуть розроблені генетичні алгоритми для вирішення задач найменшого покриття множин, розміщення буферних пристроїв у конвеєрних лініях і складання розкладів роботи деяких виробничо-транспортних систем. Теоретичні дослідження здійснюватимуться з використанням методів теорії ймовірностей, теорії складності, а також моделей дискретної оптимізації. Планується виконання експериментальних досліджень запропонованих алгоритмів і їх порівняння з відомими аналогами з використанням статистичних методів.

Плануються обчислювальні експерименти, проведені з використанням реальних завдань і випадково згенерованих даних, буде доведено перспективність запропонованих алгоритмів. Отримано теоретичні результати, що вказують на можливість ефективного вирішення задачі оптимальної рекомбінації в генетичних алгоритмах для ряду відомих задач булевого програмування, крім того, доведено складність вирішення таких задач у деяких особливих випадках.

Схематично роботу генетичного алгоритму представлено на рис. 5.

Інтелектуалізація інформаційних управляючих систем на базі засобів штучного інтелекту є складним і довгостроковим процесом, який потребує розподілення задачі на елементи та вивчення кожного елемента в умовах зовнішніх змін в економіці держави. Тому для розробки інтелектуальних інформаційних управляючих систем потрібно використовувати сучасне матеріально-технічне забезпечення у вигляді *спеціалізованого комп'ютерного обладнання*, програмного забезпечення для роботи з великими обсягами даних, зокрема використання методів інтелектуального аналізу даних, баз даних і знань, побудови природномовних інтерфейсів, використання гіпертекстових технологій, когнітивної графіки, хмарних технологій, компонентів робототехніки. Необхідний також доступ до літератури та розробок у сфері штучного інтелекту, його прикладного застосування в інтелектуальних інформаційних управляючих системах, які функціонують у західних країнах.

Штучний інтелект — це розділ комп'ютерної науки, де комп'ютер навчають думати за принципом людського мозку, тобто мислити, розпізнавати та самонавчатись. Нині є ідеальні умови, щоб створити таку програму в нашому Університеті.

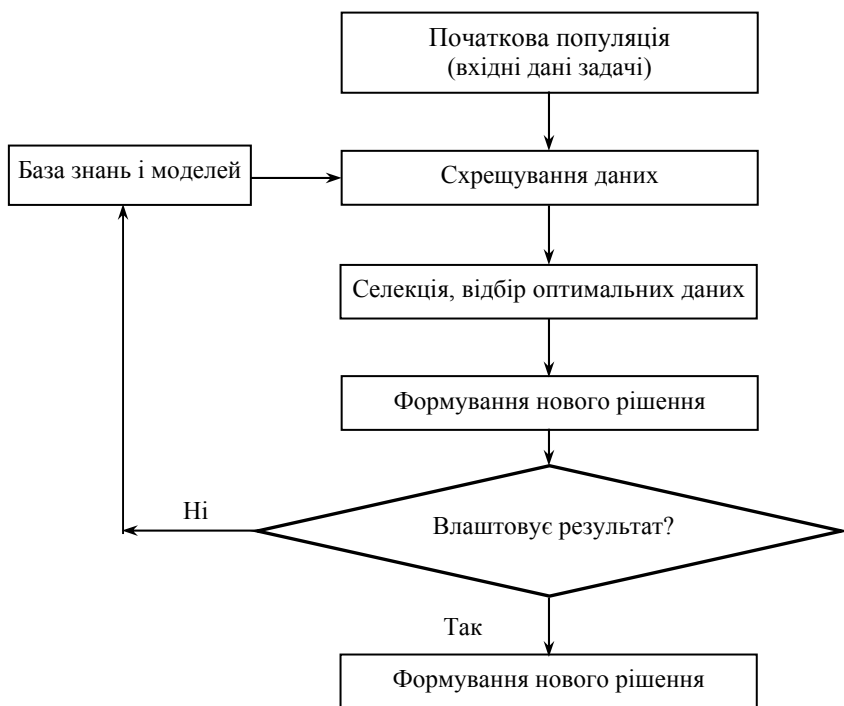


Рис. 5. Схема функціонування генетичного алгоритму в управлінні процесом

Існує великий попит на знавців штучного інтелекту, це буде *найзатребуваніший напрям інформаційних технологій* упродовж найближчих 10 років. Як показав аналіз, за Освітніми програмами «Інформаційні управляючі системи та технології» та «Системи штучного інтелекту» спеціальності «Комп'ютерні науки» ведеться підготовка як у провідних університетах Європи, так і в багатьох провідних ЗВО України (Київський національний університет ім. Шевченка, Національний авіаційний університет, Національний транспортний університет, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Донецький державний інститут штучного інтелекту, НТУУ «Львівська політехніка» та ін.).

Фахівці цього напрямку можуть бути задіяні у вирішенні великого спектра задач від створення систем ідентифікації операцій банкомату до створення систем аналізу надвеликих обсягів даних і прийняття стратегічних рішень.

3. Упровадження сучасних методологій проектування різних класів інформаційних управляючих систем

Найзначущішими факторами, що визначають поточний стан розвитку методологій проектування, є такі:

- завершення «війни методологій» у 1997 році появою Уніфікованої мови моделювання UML завдяки скоординованим зусиллям під егідою Object Modeling Group (OMG). UML як простої об'єктно-орієнтованої мови, що дає можливість наочно описати систему з різних поглядів і для різних цілей та аудиторій. Водночас одержані в результаті проектування графічні й текстові елементи семантично близькі до об'єктно-орієнтованих мов програмування, що спрощує їх використання засобами імітаційного моделювання та кодогенерування. Мова UML динамічно розвивається, отримуючи не тільки нові версії, а й діалекти. Так, мова SysML, що лежить в основі багатьох сучасних методологій, є розширенням частини UML. Водночас розвивається процесно-орієнтований підхід до моделювання систем, зокрема мова моделювання бізнес-процесів BPMN, сумісна з UML;

- концепція повторного використання коду стала відповіддю на критичну вимогу контролю вартості життєвого циклу програмних систем і скорочення витрат праці. Успішність реалізації модульності систем значною мірою залежить від організації зберігання, доступу та контролю версій компонентів, а також контролю їх сумісності. Шаблони проектування, що фіксують ефективні способи вирішення задач, втілюють у собі не лише модульний підхід, а й широке використання зафіксованих принципів і «найкращих практик»;

- керування конфігурацією, однією зі складових якої є керування версіями, є дисципліною, значення якої останнім часом значно зросло — збільшення та ускладнення систем, що розробляються, робить важчою підтримку їх цілісності;

- увага до забезпечення якості програмних продуктів привела до появи моделі зрілості можливостей (СММ), першу версію якої було опубліковано у 1991 році. Ініціатива з гармонізації та інтеграції ключових процесів і дій з інжинірингу систем дала змогу створити інтегрований підхід до вдосконалення процесів СММІ;

- архітектурний підхід акцентує увагу на аналізі предметної області, лінійці продуктів і стратегічному менеджменту. Останнім часом як критично важливі розглядають фактори безпеки як для людей, так і для навколишнього середовища, що враховується під час формування вимог і ранніх етапів проектування системи;

– гнучкі методи, такі як адаптивна розробка, SCRUM, екстремальне програмування, бережлива розробка програмного забезпечення, спрямовані на еволюційність, швидку віддачу, тісну взаємодію учасників з мінімізацією письмової документації, об'єднує тісний зв'язок між процесами специфікації та реалізації.

Усі названі ідеї та концепції знайшли свій подальший розвиток у методології моделі-орієнтованого інжинірингу систем (MBSE), яка стає стандартом де-факто й визначає подальші напрями розвитку підходів до проектування систем і різних предметних областей, включно з інформаційними управляючими системами.

Згідно з моделі-орієнтованим підходом основним артефактом, який автоматизовано розробляють і використовують упродовж життєвого циклу інформаційних управляючих систем, є інтегрована, узгоджена та послідовна модель системи. Усі інші артефакти є другорядними, вони автоматично генеруються з моделі системи за допомогою відповідних інструментальних засобів. При цьому переслідуються цілі подолати розрив між специфікацією системи та її реалізацією, підвищити продуктивність праці за рахунок максимального зменшення частки ручних операцій, поліпшити взаєморозуміння та координованість великих команд учасників розробки.

Базовими елементами MBSE є мова, метод та інструментальний засіб моделювання.

Використання графічної мови моделювання загального призначення SysML для розробки моделей структури системи, її поведінки, вимог і параметрів передбачено в абсолютній більшості сучасних методологій проектування. Для деяких предметних областей розроблено спеціалізовані мови моделювання, як графічні (UPDM, BPMN, SoaML, IDEFx), так і текстові (Verilog, Modelica). Їх інтеграція, зокрема, архітектурна мова SysML, може бути доповнена мовою мультифізичного моделювання Modelica на основі стандарту OMG «SysML-Modelica Transformation», дає можливість охопити як всі аспекти системи, так і всю аудиторію, для якої вона потрібна.

Мова моделювання визначає правила побудови моделей та їх оцінювання, але не вказує, як і коли використовувати мову для створення моделі. Процес регламентує логічну послідовність завдань, які слід виконати для досягнення цілі, а метод проектування — спосіб їх виконання. Прикладом сучасних методів проектування є INCOSE OOSEM (Object-Oriented Systems Engineering Method), IBM Telelogic Harmony-SE, RUP SE. Ці методи охоплюють велику кількість етапів системного інжинірингу, але під

час проектування конкретної системи вони мають бути адаптовані під потреби проекту.

Інструментальні засоби моделювання — окремий клас CASE-засобів, призначених для підтримки розроблення добре побудованих моделей з дотриманням нотацій і правил однієї або кількох мов моделювання. Як окрему діаграму або їх набір не можна розглядати як модель системи, так і засобами моделювання не можна вважати текстові та графічні редактори чи електронні таблиці. Засіб моделювання дає змогу створити модель як набір елементів і зв'язків між ними, а вже згодом, за необхідності, — набір діаграм, що є образами базової моделі. У разі зміни елемента на діаграмі автоматично змінюється елемент моделі та оновлюються всі інші діаграми, що відображають цей елемент. Програмні засоби моделювання відрізняються функціональними можливостями, вартістю, умовами поширення. Вибір конкретного програмного продукту має бути складовою процесу впровадження практики MBSE. Серед сучасних систем варто назвати Rhapsody (IBM Rational), Enterprise Architect (Sparx Systems), Cameo Systems Modeler (No Magic). Обмін даними між різними CASE-засобами здійснюється на основі формату XML Metadata Interchange (XMI).

Перспективи розвитку методологій проектування пов'язані з підвищенням рівня абстракції для розробки програмного забезпечення з метою зближення розробника ІУС і користувача як фахівця з певної предметної галузі.

4. Упровадження та розвиток на спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» спеціалізацій (Освітні програми) магістерського рівня «Інформаційні управляючі системи та технології» та «Системи штучного інтелекту»

Головним аргументом на користь цього рішення є потреби у фахівцях з проектування та використання інформаційних систем і технологій управління підприємствами, організаціями, технічними засобами та об'єктами на вітчизняному ринку праці. Спеціалізація «Системи штучного інтелекту» орієнтована на синтез і підвищення ефективності проектних рішень, їх розробку та удосконалення з використанням елементів штучного інтелекту в науці, техніці на промислових та інфраструктурних об'єктах економіки.

5. Концептуальні засади розвитку Інституту інформаційних систем в економіці ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Метою діяльності Інституту інформаційних систем в економіці (Інституту) є проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень і розробок, упровадження сучасних інноваційних проектів, застосування нових інструментів і методик у

галузі проектування та розроблення інформаційних систем в економіці, систем штучного інтелекту та забезпечення на цій основі умов поглибленої фахової підготовки та конкурентоспроможності університету відповідно до пріоритетних напрямів розвитку економічної науки та освіти.

Пріоритетними напрямками наукових досліджень будуть:

- відкриття нової фундаментальної НДР і прикладної госпрозрахункової наукової роботи в галузі «Методології проектування інформаційних систем і засобів штучного інтелекту в управлінні інноваційним розвитком економіки України»;
- співпраця з університетами та науковими установами;
- активізація й підготовка грантової діяльності інституту щодо участі в вітчизняних і міжнародних ІТ-проектах;
- видання колективних монографій і проведення всеукраїнських і міжнародних науково-технічних конференцій, «круглих столів», диспутів з науковцями галузі науки 05.13.06 «Інформаційні технології», галузі науки 05.13.23 «Системи та засоби штучного інтелекту»;
- формування нового наукового технічного напрямку «Системи штучного інтелекту» в Інституті.

Такий підхід вимагає створення нової концептуальної моделі Інституту та його діяльності. Основні напрями та стратегічні завдання Інституту (рис. 6):

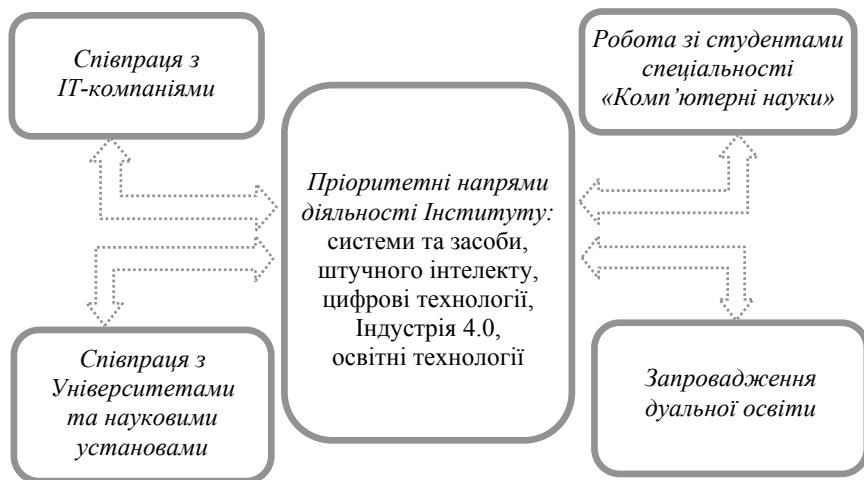


Рис. 6. Концептуальна модель наукових досліджень Інституту інформаційних систем в економіці

5.1. Співпраця з ІТ-компаніями

Залучення та співпраця з провідними українськими та закордонними ІТ-компаніями для спільної наукової діяльності. Співпрацю пропонуємо налагодити, впровадивши на базі Інституту різноманітні спеціалізовані курси, лекції ІТ-експертів і практичну роботу для підвищення рівня підготовки студентів нашої спеціальності «Комп'ютерні науки» галузі знань «Інформаційні технології». Інститут співпрацює з такими ІТ-компаніями: EPAM, SoftServe, GlobalLogic, Luxoft, Infopulse.

5.2. Співпраця з Університетами та науковими установами

Колектив Інституту розробив програму щодо підтримки стартапів, грантових програм, у яких беруть участь університети та бізнес-школи, технопарки, бізнес-інкубатори, галузеві наукові конференції та конкурси, професійне співтовариство. Зокрема, у 2018 році укладено угоду з Варшавським політехнічним університетом і налагоджено професійні відносини з Технічним університетом у м. Берлін, Університетом м. Потсдам, Технічним Університетом м. Дортмунд, Вищою школою економіки м. Варна.

5.3. Робота зі студентами спеціальності «Комп'ютерні науки»

У рамках пріоритетних напрямів діяльності Інституту проводиться робота зі студентами нашої спеціальності. Основні напрями науково-педагогічної діяльності Інституту: участь студентів, аспірантів і здобувачів наукових ступенів в наукових дослідженнях, що здійснюються в Інституті, наукові гуртки з робототехніки, електронних систем, інформаційних управляючих систем; проведення щорічних наукових студентських конференцій, «круглих столів», конкурсів наукових робіт, олімпіад, турнірів.

5.4. Запровадження дуальної освіти

Основне завдання дуальної форми навчання спеціальності «Комп'ютерні науки» є усунення основних недоліків традиційних форм і методів навчання майбутніх кваліфікованих фахівців, подолання розриву між теорією та практикою, освітою і виробництвом, підвищення якості підготовки кваліфікованих кадрів з урахуванням вимог роботодавців у рамках нових організаційно відмінних форм навчання. Наші студенти мають поєднувати навчання та стажування на підприємствах, в ІТ-компаніях, банках, фінансово-економічних установах. Ця проблема є дуже актуальною для нашої спеціальності — ІТ-галузі, оскільки вона розвивається динамічно й студенти мають змогу отримувати додаткові цінні знання з проблем штучного інтелекту безпосередньо на робочому місці. Наразі значна кількість бакалаврів та особливо магістрів працюють за фахом.

Концепція розвитку Інституту інформаційних систем в економіці передбачає дослідження світового досвіду з розроблення інформаційних управляючих систем і технологій, систем штучного інтелекту та запровадження в Україні прогресивних стандартів ІТ для формування єдиного інформаційного простору в економіці, техніці, освіті.

6. Основні напрями наукових досліджень та розвитку інформаційних управляючих систем і технологій [3, 4]:

6.1. Розроблення концептуальних і методологічних основ створення та застосування інформаційних технологій та інформаційних систем для автоматизованої переробки інформації й управління.

6.2. Розроблення моделей і методів автоматизації виконання функцій і завдань виробничого й організаційного управління у звичайних і багаторівневих структурах на основі створення та використання нових інформаційних технологій.

6.3. Дослідження та побудова інформаційних технологій для розроблення та впровадження баз і сховищ даних, баз знань і систем комп'ютерної підтримки рішень в автоматизованих системах і мережах.

6.4. Створення інформаційних технологій з метою дослідження, розроблення та впровадження комунікаційних протоколів та інструментальних засобів для побудови універсальних і спеціалізованих комп'ютерних систем і мереж, зокрема системи комп'ютеризації освіти.

6.5. Створення інформаційних технологій для системного аналізу, дослідження, розроблення архітектури та методів побудови багаторівневих, територіально розосереджених комп'ютерних систем і мереж з розподіленими базами даних і знань, зокрема комерційного призначення.

6.6. Моделювання предметних галузей використання різних класів інформаційних управляючих систем (аналітичне, імітаційне, інфологічне, об'єктно-орієнтоване тощо) на підґрунті створення та застосування відповідних інформаційних технологій.

6.7. Розроблення інформаційних технологій для побудови та впровадження: автоматизованих систем технічного діагностування, геоінформаційних систем різного призначення та комп'ютерних систем електронного бізнесу.

6.8. Розроблення та дослідження моделей і методів оцінювання якості та підвищення надійності, функціональної безпеки та живучості інформаційних управляючих систем, а також інформаційних технологій для створення гарантоздатних автоматизо-

ваних систем переробки інформації й управління критичного застосування.

6.9. Упровадження концепції Індустрія 4.0, головну роль в якій відіграють такі технології та концепти, як штучний інтелект, робототехніка, інноваційне високотехнологічне машинобудування та високотехнологічне виробництво, Інтернет-речей, «великі дані» (bigdata), «предиктивна аналітика», хмарні та туманні обчислення, «машинне навчання», машинна взаємодія, 3D-друк, криптоекономіка та блокчейн, доповнена реальність.

Концепція Індустрії 4.0 має такі напрями:

- створення інфраструктури Індустрії 4.0 — індустріальних парків, галузевих центрів технологій, технопарків тощо;
- доступ до капіталу для створення нових інноваційних виробництв;
- розвиток цифрових навичок для підготовки персоналу, здатного працювати з технологіями штучного інтелекту.

6.10. Розроблення, використання та впровадження методології застосування елементів штучного інтелекту в системах підтримки прийняття рішень, інтелектуальних систем та їх компонентів, зокрема інтелектуального аналізу даних, баз даних і знань, природномовних інтерфейсів, гіпертекстових технологій, когнітивної графіки, хмарних технологій для створення корпоративних ІТ-інфраструктур економічних і технічних об'єктів.

6.11. Розроблення системи комп'ютерного розпізнавання та відтворення мовних і зорових образів, сенсорних інтелектуальних систем розпізнавання, створення природномовних інтерфейсів сучасних комп'ютерів і розпізнавання мовних образів.

6.12. Інтелектуальні технології прийняття рішень. Створення й застосування високоінтелектуальних мульти- та гіпермедійних технологій і засобів для систем штучного інтелекту.

6.13. Аналіз, синтез і моделювання нейронних мереж, розроблення методів їх проектування, оптимізації та навчання.

6.14. Створення засобів і систем інтелектуалізації комп'ютерних інтерфейсів в інформаційних управляючих системах.

6.15. Комп'ютерна лінгвістика та лексикографічні системи.

6.16. Розроблення технологій застосування нейрокомп'ютерів, прикладні системи на основі нейронних мереж.

6.17. Розроблення інформаційно-пошукових і експертних систем обробки інформації для прийняття рішень, а також знання орієнтованих систем підтримки рішень в умовах ризику та невизначеності як інтелектуальних інформаційних технологій.

6.18. Розроблення принципів, методів й архітектурних розв'язань побудови баз знань і технологія їх експертування (експертні та багатоагентні системи).

6.19. Упровадження концепції Інтернет-речей державними установами залежно від сфери послуг таких понять: «розумний» збір сміття на міських вулицях, «розумне» паркування автомобілей, «розумний» транспорт, «розумний» дім, «розумне» виробництво тощо.

6.20. Упровадження концепції блокчейн, що може трансформувати державне управління в таких сферах, як реєстрація майнових прав, правосуддя, ідентифікація особи. У державному секторі використовується для електронних референдумів, петицій, голосування та інших сервісів електронного урядування, забезпечує високоєфективні механізми захисту цілісності та доступності інформації та дає змогу створювати повністю децентралізовані системи.

Інтеграція цифрових технологій в економіку та процеси інноваційного високотехнологічного виробництва, розроблення, упровадження та функціонування інформаційних управляючих систем, цифровізація промисловості є пріоритетом державної промислової політики. Перевага української промисловості та виробництва в світовій економіці має спиратися на створення високої доданої вартості товарів і послуг, якісне управління виробничо-збутовими ланцюгами та ефективне використання ресурсів. Результатом такої діяльності стане модернізація економіки, її оздоровлення та конкурентоспроможність.

Література

1. Штучний інтелект у системі прийняття управлінських рішень / В. В. Вітлінський // Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. — 2012. — № 1. — С. 97–118.

2. Теорія інтелектуальних систем прийняття рішень : навч. посібник / В. В. Вітлінський, В. І. Скіцько; [редкол.: О. Д. Шарапов (голова), С. С. Ващаєв, В. В. Вітлінський та ін.] ; М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Київ. нац. екон. ун-т ім. Вадима Гетьмана». — Київ : КНЕУ, 2014. — 506 с. : іл., табл.

3. Паспорт наукової спеціальності 05.13.06 — Інформаційні технології — <http://lp.edu.ua/pasport-specialnosti-051306>

4. Паспорт наукової спеціальності 05.13.23 — Системи та засоби штучного інтелекту — <http://www.lp.edu.ua/pasport-specialnosti-051323>

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМИ РЕСУРСАМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДІЯЛЬНОСТІ УНІВЕРСИТЕТУ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ

В умовах становлення цифрової економіки цифрова трансформація усіх галузей економіки та соціальної сфери є рушійною силою сталого розвитку як окремих організацій, так і глобально-го світового співтовариства загалом. При цьому більшість авторів, які займаються дослідженням проблем цифрової економіки, включають у контур процесів розвитку цифрової економіки сферу вищої освіти як один з основних елементів забезпечення можливості реалізації інноваційних, технологічних, соціальних, екологічних, економічних проєктів [1–4].

У Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки під поняттям «цифрова економіка» розуміють діяльність, у якій основними засобами виробництва є різноманітні цифрові дані. Цифрова економіка ґрунтується на інформаційно-комунікаційних і цифрових технологіях, стрімкий розвиток і поширення яких уже нині впливають на традиційну, або фізично-аналогову, економіку, трансформуючи її від такої, що споживає ресурси, до економіки, що створює ресурси. Саме дані є ключовим ресурсом цифрової економіки, вони генеруються та забезпечують електронно-комунікаційну взаємодію завдяки функціонуванню електронно-цифрових пристроїв, засобів і систем.

Згідно з визначенням Gartner [5], цифрова економіка — це всесвітня мережа економічної діяльності, комерційних транзакцій і професійних взаємодій, які забезпечені інформаційно-комунікаційними технологіями.

OECD у документі «Перспективи цифрової економіки 2015» визначає цифрову економіку як економічну діяльність, засновану на цифрових технологіях, що пов'язані з електронним бізнесом та електронною комерцією, електронними товарами та послугами, які виробляють і збувають із застосування цифрових технологій [6].

Цифрова економіка представлена трьома напрямками (рис. 1), які тісно взаємодіють між собою та впливають на життя громадян і суспільства загалом: ринки та сфери економічної діяльності, де здійснюється взаємодія конкретних суб'єктів (постачальників і

споживачів товарів, робіт і послуг); платформи й технології, де формуються стандарти для розвитку ринків і сфер економічної діяльності; середовище, яке створює умови для розвитку платформ і технологій, а також ефективної взаємодії суб'єктів ринків і сфер економічної діяльності, що охоплює нормативне регулювання, стандарти, інформаційну інфраструктуру, кадри, освіту та інформаційну безпеку.



Рис. 1. Напрями розвитку цифрової економіки

При цьому кожен з напрямів розвитку цифрового середовища та ключових інститутів ураховує підтримку розвитку як уже існуючих умов для виникнення проривних і перспективних наскрізних цифрових платформ і технологій, так і створення умов для виникнення нових платформ і технологій.

Основними наскрізними цифровими технологіями є: технологія великих даних, нейротехнології та штучний інтелект, системи розподіленого розпізнавання образів, квантові технології, нові виробничі технології, промисловий Інтернет, компоненти робототехніки й сенсорних мереж, технології безпроводного зв'язку, технології віртуальної та доповненої реальності та ін.

Проведені дослідження й аналіз практичної діяльності показали, що для підвищення ефективності економіки та формування інноваційного шляху її розвитку необхідно її реструктуризувати на основі різних інструментів і механізмів інтелектуалізації, зокрема широкосмугового доступу, центрів оброблення даних, центрів хмарних обчислень, великих даних, Інтернету речей тощо [7, 8]. Очевидним є те, що в цьому русі критичну роль відіграє консенсус з ініціативних підходів до управління інформаційни-

ми ресурсами для забезпечення процесів діяльності університетів, що забезпечують підготовку висококваліфікованих фахівців на потреби швидкоплинного цифрового середовища на основі забезпечення сумісності та безпеки інформаційних освітніх сервісів, відкритої та доступної дистанційної освіти, застосування сучасних цифрових технологій підтримання процесів діяльності університетів.

Сучасні цифрові технології дають нові інструменти для розвитку університетів у всьому світі, дають змогу знайти своє місце на глобальній науково-освітній карті й зберегти при цьому свої унікальні якості та конкурентні переваги [9, 10]. Цифрові технології забезпечують можливості для обміну накопиченим досвідом і знаннями, що дає людям змогу набувати нових знань і приймати обґрунтованіші рішення (рис. 2).



Рис. 2. Цифрові технології підтримання процесів діяльності університетів

Серед прогресивних цифрових інновацій слід указати на швидку адаптацію онлайн-навчання, яке виявляється у вигляді розвитку змішаних форм навчання (blended learning) і в активному розвитку онлайн-курсів МООС (Massive on-line open course). Динаміка розвитку онлайн-навчання демонструється, зокрема, зростанням доступних онлайн-курсів, кількість яких останнім часом щорічно подвоювалося [2].

Поява зростаючого онлайн-сегмента освітніх послуг може повністю змінити ландшафт цієї сфери: крім щорічного подвоєння чисельності пропонованих курсів і кількості слухачів, прогнозована консолідована виручка ринку МООС збільшиться більш як у п'ять разів до 2020 року [6].

Кожен університет, незалежно від обраної стратегії, повинен пройти цифрову трансформацію. Вона полягає не тільки й не стільки в упровадженні сучасних інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), скільки загалом пов'язана з культурними та організаційними змінами в університеті. Перехід до концепції *digital university* передбачає впровадження більш гнучких і безшовних процесів, зміну корпоративної культури, оптимізацію всіх процесів діяльності Університету.

Загальну концепцію розбудови цифрового Університету наведено на рис. 3.

Розглянемо диджиталізацію процесів діяльності університету на прикладі ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана».

2017 року в Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана (КНЕУ) розпочато проект розбудови цифрового Університету «DIGITAL UNIVERSITY», що передбачає диджиталізацію ІКТ-платформи Університету за трьома основними напрямками:

- цифрові комунікації та уніфікація процесів обміну даними для забезпечення диджиталізації всіх процесів діяльності Університету;
- стандартизація представлення інформації та впровадження наскрізної системи електронного документообігу, упровадження концепції «цифрових» робочих місць;
- відкрите середовище розроблення сервісів подання / передавання / представлення інформації та інформаційна підтримка можливості одночасної роботи з даними з різних інформаційних джерел.



Рис. 3. Концепція розбудови цифрового університету

Нині єдине інтегроване інформаційне середовище КНЕУ є сукупністю інформаційно-телекомунікаційних систем і мереж, баз і банків даних, технологій їх ведення та використання, що функціонують на основі єдиних принципів і за загальними правилами, і спрямовано на підтримання та розвиток цифрової інформаційно-комунікаційної інфраструктури Університету, організацію та ІТ-підтримку процесів навчальної, управлінської, фінансово-господарської діяльності Університету, підтримання та нормативне регулювання процесів цифровізації Університету, а також забезпечення інформаційної безпеки.

Функціонування та розвиток єдиного інформаційного середовища КНЕУ забезпечує Центр інформаційно-обчислювальних і мережевих систем Університету, Інститут дистанційних технологій навчання, бібліотека, відділ діловодства та архівного зберігання документів (рис. 4).

<i>Освітні процеси; процеси науково-дослідної роботи; процеси управління Університетом; процеси фінансово-господарської діяльності; процеси взаємодії із зовнішніми організаціями та зацікавленими особами</i>						
Центр інформаційно-обчислювальних і мережевих систем						Інститут дистанційних технологій навчання
Відділ автоматизації освітнього процесу	Відділ супроводу баз даних	Відділ підтримки веб-ресурсів	Відділ технічного обслуговування комп'ютерного та мережевого устаткування	Відділ цифрових технологій	Відділ супроводу програмного та технічного забезпечення освітнього процесу	Бібліотека
						Відділ діловодства та архівного зберігання документів

ЄДИНЕ ІНТЕГРОВАНЕ ІНФОРМАЦІЙНЕ СЕРЕДОВИЩЕ КНЕУ

Рис. 4. Структура єдиного інтегрованого інформаційного середовища КНЕУ

Станом на 30.04.2019 до складу Центру інформаційно-обчислювальних і мережевих систем КНЕУ входили [11]:

- відділ автоматизації освітнього процесу;
- відділ супроводу баз даних;
- відділ підтримки веб-ресурсів;
- відділ технічного обслуговування комп'ютерного та мережевого устаткування;
- відділ цифрових технологій;
- відділ супроводу програмного та технічного забезпечення освітнього процесу.

Станом на 30.04.2019 р. впроваджено основні складові єдиного інформаційного середовища КНЕУ імені Вадима Гетьмана.

1. Управління навчальним процесом, кадрове забезпечення, інтегровані е-сервіси.

Система автоматизованого управління навчальним процесом. Автоматизовану систему управління вищим навчальним закладом «ДЕКАНАТ» у КНЕУ впроваджено з 2008 року. Автоматизовану систему управління «ДЕКАНАТ» створено за клієнт-серверної технологією, що дає змогу встановлювати його на необмежену кількість комп'ютерів, які об'єднані в локальну мережу й працюють з єдиною базою даних. Використання додаткових Web-сценаріїв забезпечує можливість доступу до бази даних через веб-інтерфейс мережі Інтернет. Система «ДЕКАНАТ» працює під управлінням системи керування базами даних FireBird.

Основні модулі та функції системи автоматизованого управління навчальним процесом «ДЕКАНАТ».

Програма «ПС-Адміністратор». Призначена для щоденного тестування, резервного копіювання та за необхідності відновлення бази даних. Така організація роботи Пакета забезпечує високу надійність зберігання даних і їх достовірність, а також інформаційну сумісність з іншими продуктами.

ПС-Студент-Web. Програма для використання деканатами факультетів університету. Програма побудована на основі використання Web-інтерфейсу, що виключає необхідність проведення робіт з її встановлення на комп'ютери в деканатах. Програма призначена для:

- створення особових карток студентів-першокурсників і наповнення даними з Єдиною державною електронною базою з питань освіти (далі — ЄДЕБО));
- організації обліку студентів і відповідних подій, що фіксуються наказами (рух студентів та ін.);

- контролю успішності студентів (як за традиційною, так і за кредитно-модульною системою оцінювання знань) з можливістю аналізу даних;

- отримання звітів про розподіл студентів (Ф. 2-3 НК) та їхню успішність (семестрові та річні відомості, аналіз статистики успішності, зведена відомість для диплома тощо).

ПС-Додаток до диплома-Web. Програма призначена для друку додатків до дипломів нової форми, що відповідають Наказу Міністерства освіти і науки України. Програма автоматично отримує з бази даних інформацію для друку, яка сформована програмою «ПС-Студент-Web». Побудована програма як об'єкт (Active X), який автоматично завантажується в інтернет-браузер через мережу із сервера.

ПС-Академічна довідка-Web. Програма призначена для друку академічних довідок. Вона автоматично отримує з бази даних інформацію, яка сформована програмою «ПС-Студент-Web». Побудована програма як об'єкт (Active X), який автоматично завантажується в інтернет-браузер через мережу із сервера.

ПС-Журнал успішності студентів-Web:

- забезпечення можливості реєстрації поточної успішності та відвідувань занять студентами в реальному часі викладачами Університету;

- організація доступу до таких даних для всіх студентів Університету;

- генерація безлічі звітних документів та узагальнюючих показників для здійснення всебічного аналізу даних про поточну успішність студентів і, відповідно, прийняття управлінських рішень;

- інтегрування даних про поточну успішність з метою автоматичного формування в базі даних підсумкових семестрових показників успішності та їх друку у вигляді заліково-екзаменаційних відомостей.

Розширений аналіз успішності. Забезпечує генерацію 12-ти додаткових звітів, які дають змогу здійснювати розширений аналіз семестрової успішності студентів як для поточного року, так і в порівнянні з попереднім.

1. Звіт про результати успішності студентів певної форми навчання на зимовій або весняній сесії поточного навчального року за курсами в розрізі факультетів.

2. Звіт про результати успішності студентів під час зимової або весняної сесії поточного навчального року в розрізі факультетів, курсів і форм навчання.

3. Порівняльний звіт за результатами успішності студентів (абсолютної успішності, якості знань, заборгованості) за результатами зимової або весняної сесії поточного та минулого навчальних років в просторі параметрів: факультет, форма навчання, форма фінансування.

4. Порівняльний звіт за результатами підсумкової успішності студентів (порівняння абсолютної кількості й відсотка студентів, які виконали вимоги навчального плану, і студентів, які отримали «відмінно» і «добре») за результатами зимової або весняної сесії поточного та минулого навчального року в розрізі форм навчання та факультетів.

5. Порівняльний звіт за результатами підсумкової успішності студентів (абсолютної успішності, якості знань, середнього бала й розподілу кількості оцінок за значеннями в ECTS і 4-бальною шкалою) за результатами зимової або весняної сесії поточного та минулого навчального року в розрізі кафедр.

6. Порівняльний звіт за результатами підсумкової успішності студентів (академічної заборгованості) за результатами зимової або весняної сесії поточного та минулого навчального року в розрізі форм навчання та факультетів.

7. Порівняльний звіт за результатами підсумкової успішності студентів (академічної заборгованості) за результатами зимової або весняної сесії поточного та минулого навчального року в розрізі факультетів і кафедр.

8. Звіт про негативні підсумкові результати навчання студентів з дисциплін із заліками за результатами зимової або весняної сесії поточного навчального року.

9. Звіт про негативні підсумкові результати навчання студентів з дисциплін з іспитами за результатами зимової або весняної сесії поточного навчального року.

Крім зазначених звітів, пакет комп'ютерних програм «ДЕКАНАТ» дає можливість формувати звіти на кожному рівні структури бази даних:

- університет;
- факультет;
- курс;
- група;
- студент.

Особистий кабінет студента — містить інформацію про поточну успішність; семестрові бали; статистику оцінок; вибіркові дисципліни; наукову активність студента.

Особистий кабінет викладача включає:

- перелік академічних груп, до яких викладач має доступ для ведення журналу поточної успішності;

- розділ «збірні групи», де має можливість самостійно створювати віртуальні групи для ведення журналу за вибірковими дисциплінами;

- розділ «навчальна робота», в якому відображається індивідуальний план роботи викладача.

Наукова активність студента включає інформацію щодо:

- типу події (участь у науковій конференції, у студентській олімпіаді, публікація наукової статті та ін.). Тема доповіді (назва публікації);

- прізвище, ініціали, посада, місце роботи наукового керівника;

- назва наукового заходу (видання);

- місце проведення (видання);

- відзнака;

- анкетні дані студента;

- обхідний лист.

Обхідний лист — таблиця реєстрації заборгованостей студентів.

У таблиці фіксується дата запису щодо заборгованості, дата скасування заборгованості, ідентифікатор студента, ідентифікатор підрозділу, де виникла заборгованість у студента, автор запису щодо виникнення заборгованості, автор запису щодо її скасування, тип заборгованості (з довідника), довільний коментар, поточний статус запису щодо заборгованості. Усі зміни в даних автоматично фіксуються в журналі реєстрації змін. Це дає змогу за необхідності переглядати дані щодо авторів змін, дат внесення змін і всіх варіантів стану досліджуваного запису та сформулювати звіти про кількість заборгованостей у студентів.

Комунікатор — для спілкування за необхідності з усіма користувачами бази даних — викладачами, працівниками деканатів, адміністратором тощо.

Особливості Пакета комп'ютерних програм «ДЕКАНАТ»:

- великий обсяг і повнота інформації, яка зберігається в базі даних;

- великий обсяг звітів, які можна підготувати на основі даних з бази даних;

- інформаційна сумісність з іншими продуктами.

Для розрахунку навантаження викладачів, складання розкладу занять використовується також автоматизована система управління навчальним процесом АСУ УНП.

Для автоматизації діяльності Приймальної комісії та взаємодії з ЄДЕБО використовується пакет комп'ютерних програм «ПС-Абітурієнт».

Основні можливості пакета «ПС-Абітурієнт»:

- формування даних про підрозділи;
- формування даних за галузями знань, напрямками підготовки, спеціальністю (спеціалізацією) та їх розподілом за підрозділами;
- формування даних про список дисциплін, за якими приймаються сертифікати зовнішнього незалежного тестування або складаються вступні іспити;
- формування даних про кожного абітурієнта;
- формування даних про бали сертифікатів абітурієнтів;
- формування даних, які необхідні для щоденної передачі в систему «Конкурс».

Для забезпечення координації та контролю дій структурних підрозділів Університету з питань електронного ліцензування освітньої діяльності у сфері вищої освіти, формування електронної звітності стосовно контингенту студентів, організації замовлення, видачі та обліку документів про освіту державного зразка, координації робіт з організації замовлення, видачі та обліку студентських квитків державного зразка, моніторингу якості карток студентських квитків і процесу їх виготовлення організовано доступ до програмного комплексу Єдиної державної електронної бази з питань освіти (ЄДЕБО).

2. Дистанційне навчання

Дистанційна форма навчання в КНЕУ запроваджується з метою: поширення доступу громадян до освітньо-професійних програм вищої освіти з використанням сучасних інформаційних ресурсів; реалізації навчальних і наукових ресурсів КНЕУ та підвищення якості навчання за рахунок інноваційних методів навчання, в тому зокрема індивідуального підходу в навчанні; розвитку особистості з метою подальшого самостійного навчання впродовж життя.

Основне завдання дистанційного навчання — забезпечення громадянам можливості реалізації конституційного права на здобуття вищої освіти та професійної кваліфікації. Дистанційне навчання орієнтоване насамперед на такі категорії студентів: особи з особливими потребами; особи, які проживають у географічно віддалених від ВНЗ населених пунктах; громадяни України, які тимчасово або постійно проживають за кордоном; особи, які здатні самостійно або прискорено опанувати навчальні програми.

Дистанційне навчання в КНЕУ реалізовується шляхом:

- застосування дистанційної форми як окремої форми навчання;
- використання технологій дистанційного навчання для забезпечення інших форм навчання (технології змішаного навчання);
- розроблення дистанційних сертифікаційних програм (курсів), що продаються стороннім споживачам ринку освітніх послуг.

Дистанційне навчання в КНЕУ реалізоване в системах управління навчальним контентом WebCT (з 2001–2019 рр., понад 200 курсів, do.kneu.kiev.ua) та Moodle (з 2013 р., близько 300 курсів, do-m.kneu.kiev.ua). Авторизація в системі відбувається автоматично під час переходу з електронного кабінету викладача чи студента із сайту КНЕУ.

Кожна навчальна дисципліна дистанційної форми навчання відповідно до навчального плану цієї форми забезпечена дистанційним курсом, який являє собою комплексний електронний простір вивчення дисципліни, що містить презентації, відеоматеріал, текстові лекції, завдання, тести, форуми та дає можливість кожному студенту формувати індивідуальну траєкторію навчання. Крім того, платформа дає змогу налагодити обмін повідомленнями між учасниками курсу, використовувати он-лайн зустрічі для проведення консультацій та іспитів, зберігає електронний журнал тощо.

Дистанційне навчання в КНЕУ реалізується через Інститут дистанційних технологій навчання (idtn.kneu.edu.ua), який забезпечує організаційне, адміністративне, методологічне та технологічне супроводження процесу дистанційного навчання.

Організація навчального процесу із застосуванням дистанційних технологій навчання в КНЕУ здійснюється відповідно до:

- Закону України «Про вищу освіту»;
- «Концепції розвитку дистанційної освіти в Україні», затвердженій Міністерством освіти і науки України від 20 грудня 2000 року;
- Наказу Міністерства освіти і науки України «Про затвердження Положення про дистанційне навчання» від 25 квітня 2013 року № 466;
- Положення «Про інститут дистанційних технологій навчання ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана», затвердженого наказом ректора № 870 від 28.10.2013 р.;
- «Порядку про атестацію дистанційних курсів у ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана», затвердженого наказом ректора № 890 від 08.12.2016 р.;

– «Положення про організацію освітнього процесу за дистанційною формою навчання» (нова редакція), затвердженого наказом ректора № 538 30.06.2017 р. з додатками «Методичні рекомендації щодо розробки розділів робочої навчальної програми з наук (дисциплін) для студентів дистанційної форми навчання» та «Уніфіковані вимоги щодо структури, наповнення та оформлення дистанційних курсів»).

З метою поглиблення та розширення рівня професійних компетентностей педагогічних і науково-педагогічних працівників університету, набуття ними досвіду використання інноваційного інструментарію для використання здобутих знань, умінь та навичок щодо використання дистанційних технологій в освітньому процесі сформована програма: курси підвищення кваліфікації «Дистанційні технології в освітньому просторі Університету», що відповідає актуальним потребам викладацького складу КНЕУ у галузі дистанційних технологій і забезпечує ефективну розробку дистанційних курсів для всіх форм навчання. Курси працюють з 2001 року. Упродовж останніх трьох років кваліфікацію підвищили майже 200 викладачів.

3. Управління ресурсами

3.1. Електронні ресурси. Основним функціональним завданням сучасної університетської бібліотеки є інформаційне забезпечення навчального, виховного та наукового процесів вузу та надання вільного доступу до вітчизняних і світових інформаційних ресурсів.

Бібліотека КНЕУ працює з інтегрованою інформаційно-бібліотечною системою «ІРБІС» починаючи з 1998 року.

АБІС ІРБІС 64 — інтегрована інформаційно-бібліотечна система, адаптована до потреб бібліотеки КНЕУ, забезпечує комплексну автоматизацію всіх бібліотечних процесів і надає можливість доступу до створених баз даних.

Інструментальні засоби дають змогу підтримувати:

- повні тексти документів;
- графічні зображення;
- MARC-сумісні формати;
- ISO-стандарт;
- інформаційно-пошукові мови дескрипторного й класифікаційного типів з наявною в них системою посилань;
- авторитетні файли;
- штрихові коди;
- протоколи передачі даних для роботи в локальних, корпоративних і глобальних мережах;

– WWW-сервер, який надає широкий спектр послуг через Інтернет, тощо.

До складу АБІС входять *АРМи*: «Адміністратор», «Комплектатор», «Каталогізатор», «Читач», «Книговидача», «УДК» та модуль *Web-ІРБІС*. ТСР/ІР Сервер баз даних ІРБІС64, містить засоби моніторингу процесів, що виконуються, авторизації користувачів та ін.

АРМ «Адміністратор» (клієнтський і серверний варіанти) — робоче місце спеціаліста, що виконує системні операції над базами даних в цілому.

– Системна підтримка сервера, оновлення, створення бекапів.

– Створення, редагування та управління системними утилітами.

– Формування та конвертація до системи профайлів першокурсників.

– Встановлення або переустановлення клієнтів.

– Локальні налаштування операційної системи.

– Налаштування віддаленого клієнта.

– Отримання статистичних показників за певний період.

АРМ «Каталогізатор» — робоче місце бібліотечного працівника, який виконує функції з формування Електронного каталогу (ЕК) та інших баз даних системи.

В АРМ створюються, редагуються та видаляються бібліографічні записи на всі бібліотечні ресурси. Бази даних ЕК містять бібліографічні та інші (спеціальні) описи літератури. Для каталогізації окремих видів матеріалів — книг, видань, що продовжуються, карт, комп'ютерних файлів, звукових- і відеозаписів, ігор тощо створено спеціальні шаблони. Каталогізація документів можлива різними мовами світу.

АРМ «Комплектатор» — робоче місце бібліотечного працівника, який виконує функції з комплектування, надходження документів та обліку бібліотечного фонду. Ведеться окрема база даних СМРЛ.

Здійснює інвентарний облік книжкових видань, реєстрація надходжень періодичних видань тощо. Роздруковуються поліпропіленові етикетки штрих-кодів для нових надходжень літератури.

АРМ «Читач» — робоче місце користувача, призначене для пошуку інформації в Електронному каталозі, перегляду чи друку віднайденної інформації, формування замовлення на видачу знайденої літератури з книгосховища бібліотеки.

АРМ «Книговидача» — робоче місце бібліотечного працівника, який здійснює видачу та приймання навчальної літератури.

Модуль Web-ІРБІС — забезпечує цілодобовий доступ до баз даних Електронного каталогу. За допомогою веб-модуля користувачі мають доступ до електронних ресурсів бібліотеки.

Модуль має три складові — *Електронний каталог, Електронна бібліотека навчальної літератури та Електронний формуляр читача*, що дає можливість користувачам самостійно вибудовувати алгоритм пошуку необхідної інформації. Надається можливість замовляти документи з відділу книгозберігання до читальних залів у режимі он-лайн, а також переглядати особистий електронний формуляр, який містить перелік навчальних та інших видань, отриманих при електронній книговидачі.

3.2. Інституційний репозитарій (електронний архів) КНЕУ

Забезпечення функціонування репозитарію Університету є одним з пріоритетних у роботі бібліотеки. Бібліотека Університету є координатором та основним виконавцем процесу створення та функціонування інституційного репозитарію КНЕУ (з 2010 року).

Електронний архів КНЕУ накопичує, зберігає та забезпечує довготривалий і надійний доступ до результатів наукової та освітньої роботи працівників, студентів, аспірантів, докторантів університету та поширює вільно ці результати в глобальній мережі.

Програмне забезпечення — вільно поширене DSpace.

Основне призначення репозитарію: накопичення, збереження, розповсюдження та забезпечення довготривалого, постійного та надійного доступу до наукових досліджень професорсько-викладацького складу, працівників і студентів Університету. Репозитарій зареєстровано в реєстрах: DOAR (Directory of Open Access Repositories), ROAR (Registry of Open Access Repositories), SSM (Система пошуку у відкритих архівах України).

Станом на 31 грудня 2018 р. електронний архів нараховує 22237 публікацій — статті, монографії, підручники, дисертації, навчальні матеріали, тощо.

У 2015 році репозитарій КНЕУ отримав у Міжнародному центрі ISSN власний номер **2411–4383**, а з ним — і статус повноцінного електронного видання (ресурсу, що постійно оновлюється).

3.3. Окрім АБІС «ІРБІС», робітниками бібліотеки самостійно освоєні та застосовуються інші програмні продукти, **зокрема MediaWiki та DSpace.**

Бібліотека пропонує послуги віддаленим користувачам через глобальні мережі. Створені й постійно поповнюються Інтернет-орієнтовані вебліографічні бази економічного спрямування http://lib.kneu.edu.ua/ua/e_resours_bibl/temat_elek_res/:

- «Економічний олімп: лауреати Нобелівської премії з економіки»;
- «Економічна історія України: документи та матеріали»;
- «Історія економічної думки в особах»:
 - «Економічна думка України: матеріали до наукових біографій»;
 - «Історія економічної теорії: біобібліографічний аспект (від античності до XX століття)».

3.4. Веб-сайт бібліотеки. У сучасних умовах перше ознайомлення користувачів з бібліотекою вищого навчального закладу часто здійснюється через веб-сайт. Ознайомлення з електронними продуктами, послугами й сервісами, своєчасне інформування про всі аспекти діяльності та здобутки бібліотеки здійснюється через веб-сайт бібліотеки <http://lib.kneu.edu.ua/>.

4. Офіційний сайт ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» — kneu.edu.ua

Офіційний сайт ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» kneu.edu.ua (www.kneu.kiev.ua, kneu.ua) — сучасна інформаційна система, яка дає змогу висвітлювати необхідну інформацію щодо організації навчального процесу в Університеті, діяльності його структурних підрозділів, методичного забезпечення навчальних дисциплін, подій, що відбуваються в Університеті.

Сайт покликаний інформувати про наукові новинки університету, наявні рейтинги й досягнення навчального закладу, стратегію й тактику його розвитку, поточну та іншу інформацію, що стосується діяльності ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана».

У 2013 році було розроблено Положення «Про порядок формування та підтримки веб-сайту ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»», яке визначає:

- структуру офіційного сайту ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»;
- структурні підрозділи ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана», що відповідають за інформування користувачів і функції цих підрозділів;
- відповідальність за підготовку та надання інформації для забезпечення ефективної роботи сайту;
- технологію підтримки сайту.

Основними завданнями сайту є:

- забезпечення якісної комунікації між викладачами, студентами, абітурієнтами, випускниками, партнерами ДВНЗ «Ки-

ївський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»;

- висвітлення діяльності та досягнень Університету;
- позиціонування ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» як найбільшого економічного, дослідного, інноваційно спрямованого ВНЗ країни з-більш як сторічним досвідом, центру розвитку та реалізації студентських ініціатив;
- оперативне та об'єктивне інформування громадськості про діяльність ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»;
- формування цілісного позитивного іміджу ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»;
- удосконалення інформованої про якість освітніх послуг в установі;
- створення умов для взаємодії учасників освітнього процесу, соціальних партнерів ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»;
- здійснення обміну педагогічним досвідом;
- стимулювання творчої активності викладачів і студентів.

Україномовна версія сайту становить близько 36 100 сторінок, англomовна — приблизно 12 200 сторінок.

Webometrics Ranking of World Universities

Вебoметpичний рейтинг університетів світу (анг. Webometrics ranking of world's universities) — рейтинг університетів світу, за яким аналізують ступінь представлення університетів в Інтернеті.

Рейтинг формує та публікує двічі на рік (у січні та липні) лабораторія кіберметрики (Cybermetrics Lab) Національної дослідницької ради Іспанії (National Research Council, CSIC), яка діє при Міністерстві освіти Іспанії. Рейтинг починався з аналізу 6000 університетів у 2004 році. На сьогодні аналізують 20 745 вищих навчальних закладів і визначають їх місце відповідно до ступеня представлення в Інтернеті за методикою, яка ґрунтується на Берлінських принципах визначення рейтингу вищих навчальних закладів (Berlin Principles on Ranking of Higher Education Institutions), які розробило ЮНЕСКО.

Об'єктом аналізу є домен академічної інституції. Не враховують інституції, які не мають власного незалежного веб-домену. Методика вимірювання Webometrics (<http://www.webometrics.info/en>) постійно змінюється, проте в основу покладено аналіз однакових

складових, а саме: зовнішніх посилань на сайт, розміру сайту (кількості сторінок і публікацій, медіаматеріалів тощо) і наукових публікацій, що є доступними он-лайн (табл. 1). Ці складові отримуються з різних пошукових систем.

Таблиця 1

РЕЙТИНГ КНЕУ ІМ. В. ГЕТЬМАНА У РЕЙТИНГУ WEBOMETRICS

Дата рейтингування	Місце ВНЗ у світовому рейтингу	Місце ВНЗ у національному рейтингу
січень 2010	5077	19
липень 2010	4452	17
січень 2011	4260	21
липень 2011	3438	13
лютий 2012	4374	23
липень 2012	5156	45
лютого 2013	886	35
серпень 2013	8759	63
січень 2014	7145	48
січень 2015	4650	37
липень 2015	5329	22
січень 2016	5115	31
липень 2016	3664	17
січень 2017	4288	27
липень 2017	4661	27
січень 2018	4523	23
січень 2019	4638	26

Працівниками сектора освітніх інформаційних технологій проводиться аналіз позицій КНЕУ ім. В. Гетьмана у рейтингу Webometrics.

Індекс прозорості від CEDOS

Рейтинг прозорості університетів є одним з багатьох механізмів забезпечення якості вищої освіти. CEDOS показує, наскільки університети готові бути відкритими та інформувати власних студентів і викладачів, а також широко громадськість про власну

політику через свої сайти. CEDOS укладає цей рейтинг з метою віднайти найкращі практики серед українських університетів і всередині кожного університету серед різних факультетів і кафедр, щоб поширити ці практики на якомога більше веб-сторінок українських вишів. Відкритість інформації не є запорукою високої якості освіти, проте вона є необхідною умовою для усвідомленого вибору абітурієнтів, студентів і викладачів.

Сайт КНЕУ ім. В. Гетьмана: 2015 рік — 16-е місце в рейтингу, 2016 рік — 39-е місце.

Рейтинг прозорості КНЕУ ім. В. Гетьмана у Cybermetrics

У 2019 році лабораторія Cybermetrics оприлюднила свій рейтинг прозорості університетів, підготовлений на основі даних цитованості провідних учених (табл. 2).

Таблиця 2

РЕЙТИНГ ПРОЗОРОСТІ УНІВЕРСИТЕТІВ У CYBERMETRICS

Місце в Україні	Місце в світі	Навчальний заклад	Показник
1	1649	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	29 087
2	1704	Сумський державний університет	27 622
3	1822	Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана	24 341
4	1851	Київський національний університет імені Тараса Шевченка	23 726
5	1953	Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди	21 206
6	2068	Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»	18 983
7	2153	Національний університет «Києво-Могилянська академія»	17 844
8	2211	Одеський національний університет імені І. І. Мечникова	17 062
9	2239	Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького	16 649
10	2321	Тернопільський національний економічний університет	15 683

Лідерами рейтингу є Гарвардський і Стенфордський університети з показниками 1 730 326 і 1 508 578 відповідно.

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана посів третє місце серед українських вишів і 1822 місце в світі з показником 24 341.

Автори рейтингу вважають цитованість у Google академії індикатором веб-присутності науковців університету, який відображає їхню діяльність і є показником відкритості університету. Для аналізу використовуються офіційні домени або поштові адреси навчальних закладів.

Рейтинг World Universities Web Ranking 2018

Однотименна австралійська компанія 4ICU публікує свій рейтинг з 2005 року, оцінюючи популярність більш як 11 тисяч ВНЗ світу та понад 171 ВНЗ України за популярністю їх веб-ресурсів. На думку авторів рейтингу, це допомагає міжнародним студентам, викладачам і науковцям дізнаватися, наскільки певний ВНЗ є популярним в тій чи іншій країні.

У рейтингу використовуються показники цитованості та відвідуваності офіційних веб-представництв ВНЗ світу. Джерелами інформації є бази даних міжнародного Інтернет-гіганту Google, американської компанії Alexa Internet (дочірня компанія Amazon) і британської компанії Majestic-12.

Сайт КНЕУ ім. В. Гетьмана: 41-місце серед українських ВНЗ.

5. Комунікаційну політику та документообіг КНЕУ забезпечено сервісом Microsoft Office 365 та ІС-ПРО.

Студенти та працівники КНЕУ активно використовують сервіси Microsoft Office 365. На поточний момент у національному домені kneu.ua зареєстровано 22 035 користувачів — як нинішніх, студентів так і випускників минулих років і викладачів.

Засобами Microsoft Office 365 (Outlook, OneDrive, Yammer, Teams, One Note, Outlook, та ін.) забезпечується підтримання різноманітних освітніх заходів, спільна робота з файлами офісних додатків Функціонал Office 365, дозволяє також залучити до активної роботи користувачів, які застосовують різноманітні операційні платформи, як Android, MS OS, Mac. Значний об'єм сховища даних — 1ТБ на кожного зареєстрованого користувача — створює комфортні умови для реалізації викладачами та студентами цікавих і ресурсоемних проектів.

Комплексна система автоматизації «ІС-ПРО» використовується в роботі адміністративних підрозділів Університету з розрахунку та обліку заробітної плати, розрахунку стипендій, обліку

грошових коштів, основних засобів, ведення договорів (оплата навчання за контрактом, оплата проживання в гуртожитку, оплата оренди приміщень), управління персоналом.

Загалом Центр інформаційно-обчислювальних і мережевих систем забезпечує використання інформаційно-комунікаційних технологій у всіх сферах діяльності структурних підрозділів Університету:

- інформаційне, організаційне та технічне забезпечення процесів діяльності Університету (освітні процеси; процеси науково-дослідної роботи; процеси управління Університетом; процеси фінансово-господарської діяльності; процеси взаємодії із зовнішніми організаціями та зацікавленими особами);

- участь у впровадженні засобів інформаційно-комунікаційної підтримки процесів навчання — організаційно-технічна та методична підтримка програмних платформ для створення та проведення інтерактивних курсів;

- консультативні послуги — технічне обслуговування комп'ютерного обладнання;

- забезпечення впровадження цифрових технологій в діяльність структурних підрозділів Університету;

- створення довідкової бази даних з навчально-методичних питань;

- створення та постійне оновлення WEB-сайту Університету;

- супроводження поточної бази даних для виготовлення пластових студентських квитків;

- забезпечення роботи цифрової фотостудії;

- забезпечення он-лайн трансляцій різних заходів в Університеті;

- супроводження підсистеми «Дипломи» — бази даних випускників КНЕУ тощо.

Проект розбудови цифрового університету в ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» DIGITAL UNIVERSITY передбачає програму цифрової трансформації для переходу до конкурентної в майбутньому освітньої та науково-дослідної моделі за деякими напрямками.

Діджиталізація системи управління Університетом:

- діджиталізація адміністративно-управлінських, організаційних, господарських процесів діяльності Університету, де здійснюється взаємодія конкретних суб'єктів управлінської діяльності;

- упровадження наскрізної системи електронного документообігу;

- забезпечення IT-підтримки процесів прийняття управлінських рішень в Університеті;

- цифровізація органів управління, які забезпечують реалізацію нових функцій та удосконалення якості й ефективності методів управління.

Діджиталізація освітньої діяльності Університету:

- діджиталізація процесів освітньої діяльності Університету, що забезпечує різні форми інноваційної освіти й значно розширює можливості й підвищує якість освітнього процесу;

- розвиток єдиної інформаційно-освітньої платформи Університету з використанням сучасних засобів ІКТ;

- формування, розвиток і задоволення інформаційних потреб підрозділів Університету, які забезпечують освітню діяльність (науково-методичний відділ, деканати, кафедри тощо).

Діджиталізація наукової діяльності Університету:

- діджиталізація наукової діяльності, що забезпечує доступ до цифрових банків наукової інформації, електронних бібліотечних фондів, наукових спільнот;

- IT-підтримка активної участі студентів, аспірантів і професорсько-викладацького складу в національних і міжнародних наукових програмах;

- розбудова цифрової платформи для проведення фундаментальних і прикладних досліджень в Університеті.

Розвиток людського капіталу:

- підвищення цифрових компетенцій працівників і студентів Університету;

- упровадження наявних, а також розроблених, розвиток і застосування цифрових технологій для підвищення цифрової культури користувачів;

- підготовка кадрового складу до переходу на безпаперові технології роботи;

- підвищення цифрового потенціалу розвитку Університету.

Створення цифрової інфраструктури Університету:

- забезпечення сучасної матеріально-технічної бази для підтримання та розвитку цифрового університету;

- створення техніко-технологічної бази діджиталізації;

- забезпечення широкосмугового доступу (швидкісного доступу до Інтернету);

- підвищення надійності та ефективності оброблення великих обсягів інформації за різними напрямками діяльності Університету, представлення інформації в зручній для користувачів формі;

– підтримання процесів віддаленого доступу до даних за відповідними напрямками діяльності Університету.

Створення цифрової екосистеми університету:

– підтримання платформ і технологій, де формуються стандарти для розвитку цифрових ринків і діджиталізації сфер економічної діяльності;

– формування в Університеті цифрових послуг у науково-освітній діяльності для внутрішніх і зовнішніх користувачів;

– розвиток єдиного цифрового середовища для підтримання ефективної взаємодії суб'єктів ринків і сфер економічної діяльності, що охоплює нормативне регулювання, стандарти, інформаційну інфраструктуру, кадри та інформаційну безпеку;

– забезпечення цифрової безпеки Університету.

Отже, проект розбудови цифрового університету в ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» DIGITAL UNIVERSITY, що передбачає діджиталізацію всіх процесів діяльності Університету й спрямований на здійснення інноваційних і культурних перетворень, які є необхідними при переході на нову освітню модель, є актуальним, своєчасним і має важливе значення як для забезпечення прогресивного розвитку Університету, так і формування прогресивної моделі цифрового університету для національного освітнього простору.

Важливість цього проекту зумовлена деякими факторами. По-перше, в умовах розбудови цифрової економіки та цифровізації всіх процесів людської діяльності підвищується роль інформаційних технологій, підтримання процесів інформаційної взаємодії між об'єктами цифрової економіки, що приводить до необхідності розроблення нових технологічних рішень, широкого впровадження кібер-фізичних систем і стандартизації процесів, що відбуваються в цифровій економіці. І одним з найважливіших напрямів підвищення ефективності та конкурентоспроможності національної економіки є випереджальний розвиток сфери освіти [12].

По-друге, нині практично всі студенти є з покоління digital natives, що демонструють набагато більшу схильність до застосування нових технологій у повсякденному житті, особливо щодо застосування ІКТ не тільки в професійній сфері, а й для соціалізації та комунікації. Таким чином, діджиталізація Університету зробить його більш пристосованим для цільової аудиторії.

По-третє, зростає конкуренція серед університетів і з огляду на глобалізацію освітнього ринку боротьба за студента відбуватиметься вже не в рамках однієї країни або кластера країн, а на міжнародному рівні. Таким чином, створення й збереження за

собою конкурентної переваги Університету буде визначатися своєчасністю впровадження нових ІКТ і як наслідок — готовністю до фундаментальних зрушень у бік освітньої системи нового покоління.

По-четверте, украй необхідним є діджиталізація внутрішніх процесів діяльності Університету для збільшення ефективності взаємодії підрозділів на рівні всього навчального закладу.

Успішна реалізація проекту DIGITAL UNIVERSITY в ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» однозначно приведе до підвищення конкурентоспроможності Університету на ринку освіти, створення додаткової цінності та ефективного залучення студентів, а також забезпечить фундамент для розбудови цифрових університетів у національному освітньому просторі та сприятиме розвитку цифрової економіки як в Україні, так і в світі.

Література

1. *Куприяновский В. П.* Целостная модель трансформации в цифровой экономике — как статья цифровыми лидерами / В. П. Куприяновский, А. П. Добрынин, С. А. Синягов, Д. Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. — 2017. — № 1. — vol. 5. — С. 26–32.

2. Цифровой университет: применение цифровых технологий в современных образовательных учреждениях — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.itweek.ru/idea/article/detail.php?ID=192831> — Загл. с экрана.

3. Глобальное экономическое развитие: тенденции, асимметрии, регулирование: Монография [Д. Лукьяненко, А. Колот, Я. Столярчук и др.]: под. науч. ред. профессоров Д. Лукьяненко, А. Поручника, В. Колесова. — К.: КНЭУ, 2013. — 466 с.

4. *Степаненко О. П.* Цифровая трансформация банковской системы в условиях становления и развития цифровой экономики / О. П. Степаненко // Управляющие системы и машины. — 2017. — № 1. — С. 77–85.

5. Офіційний сайт компанії Gartner: <https://www.gartner.com/en>

6. OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2018. — URL: <https://www.oecd.org/sti/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-25186167.htm> — Name from the screen.

7. *Добрынин А. П.* Цифровая экономика — различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие) / А. П. Добрынин, К. Ю. Черных,

В. П. Куприяновский, П. В. Куприяновский, С. А. Синягов. — International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 4, no. 1, 2016. — С. 4–11.

8. Accenture Technology Vision 2015. Digital Business Era: Stretch Your Boundaries. 2015 Accenture. — [Electronic resource] — Access mode: https://www.accenture.com/sg-en/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/Microsites/Documents11/Accenture-Technology-Vision-2015.pdf — Name from the screen.

9. Monitoring the Digital Economy & Society 2016–2021 [Electronic resource]. — Access mode: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/341889/725524/Monitoring+the+Digital+Economy+%26+Society+2016-2021/7df02d85-698a-4a87-a6b1-7994df7fbeb7> — Name from the screen.

10. The 2018 Digital University Staying Relevant in the Digital Age [Electronic resource]. — Access mode: <https://www.pwc.co.uk/assets/pdf/the-2018-digital-university-staying-relevant-in-the-digital-age.pdf> — Name from the screen.

11. Лук'яненко Д. Г. DIGITAL UNIVERSITY: Проект розбудови цифрового університету в ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» / Д. Г. Лук'яненко, О. П. Степаненко // зб. мат. Національної наук.-метод. конф. «Цифрова економіка», 4–5 жовтня 2018 р., м. Київ. — К.: КНЕУ, 2018. — С. 245–249.

12. *Stepanenko Olga P.* Development of information and communication technologies in the digital economy / Olga P. Stepanenko // Моделювання та інформаційні системи в економіці. Збірник наукових праць. Випуск 96'2018. — К.: КНЕУ, 2018. — С. 189–202.

Денісова О. О., к.е.н., доц.

КОНЦЕПЦІЯ ТА МЕТОДОЛОГІЇ СИСТЕМНОГО ІНЖИНІРИНГУ

Початок формування дисципліни «системний інжиніринг» («системна інженерія», «system engineering») зазвичай відносять до 30–40-х років XX століття, коли виникла необхідність визначення та маніпулювання властивостями цілісної системи, що можуть відрізнитись від суми властивостей складових цієї системи, у відповідь на появу численних складних інженерних проектів, передусім у військовій галузі. За словами С. Рамо [1], автора першого визначення, системний інжиніринг — це дисципліна,

що вимагає розгляду проблеми загалом, урахування всіх граней і змінних, що стосуються соціальних і технічних аспектів. За визначенням Х. Ейснера [2], системний інжиніринг — це ітеративний процес синтезу «згори-донизу», розробки та оперування системою реального світу, що задовольняє новим оптимальним чином повний набір вимог до цієї системи.

Системний інжиніринг розвивався впродовж минулих десятиліть (див. табл. 1), і нині це — визнана зріла дисципліна [2], яку розглядають як належний підхід для реалізації успішних систем.

Таблиця 1

**ВАЖЛИВІ ДАТИ В СТАНОВЛЕННІ
ДИСЦИПЛІНИ СИСТЕМНОГО ІНЖИНІРИНГУ**

1937	Робота Британської міждисциплінарної команди з аналізу протиповітряних захисних систем
1939–1945	Bell Labs підтримує військовий проект США зі створення зенітного ракетного комплексу з наведенням NIKE
1951–1980	MIT керує програмою створення SAGE — системи напівавтоматичної координації дій перехоплювачів шляхом програмування їх автопілотів по радіо комп'ютерами, розташованими на землі. — однієї з перших великомасштабних глобальних комп'ютерних мереж
1956	Розробка методів системного аналізу корпорацією RAND
1962	Публікація книги «Методологія системного інжинірингу» А. Д. Холла
1968	Зародження практики моделювання системного інжинірингу під час інженерних робіт корпорації TRW у рамках програми розробки міжконтинентальних балістичних ракет Повітряних сил США
1990	Створення INCOSE (International Council on Systems Engineering) — Міжнародної ради із системного інжинірингу
2002	Випуск стандарту ISO/IEC 15288: 2002(E) — Systems engineering — System life cycle processes (Системний інжиніринг — Процеси життєвого циклу систем), одного з базових стандартів системного інжинірингу [6]

Водночас формування відповідних методологій ще не завершено, жодна з них не стала домінуючою, тому виникає потреба в їх аналізі, визначенні перспективних тенденцій розвитку й проблем, що вимагають вирішення.

За результатами проведеного аналізу різних концепцій [1–5] було визначено такі базові постулати системного інжинірингу:

– системне мислення — виявлення, вивчення, діагностика і діалог, спрямовані на досягнення, моделювання та обговорення

систем реального світу з метою кращого розуміння, визначення та роботи з ними;

- інтерактивність процесів з підтримкою навчання, виявлення справжніх вимог і безперервне вдосконалення;

- спрямованість на складні системи — виявлення неочікуваних властивостей і непрогнозованої поведінки та мінімізація небажаних наслідків. Для особливо великих проектів уживають термін «система систем», який позначає набір систем, що взаємодіють і таким чином продукують результат, недосяжний для відокремленої системи;

- ефективне керування змінами — зменшення ризику під час створення нових або модифікації старих складних систем;

- охоплення технічних та управлінських процесів з акцентом на гарному прийнятті рішень, першочергово — на ранніх стадіях життєвого циклу системи;

- міждисциплінарний характер і загальна зорієнтованість, оскільки доцільність і можливість застосування існуючих підходів і методологій не залежать від галузі або варіанта життєвого циклу;

- залежність системного інжинірингу від комунікацій та взаєморозуміння учасників.

Якщо від самого початку системний інжиніринг знайшов застосування в аерокосмічній та оборонній галузях, то згодом до них приєдналися усі види транспорту, енергетика, медицина, телекомунікації, фінанси, освіта та ін.

У 1968 році під егідою Наукового Комітету НАТО було проведено конференцію, у назві якої вперше було вжито термін «інжиніринг програмного забезпечення» (програмна інженерія, software engineering), що дало поштовх розвитку однойменної дисципліни. У програмах світових університетів відповідна навчальна дисципліна з'явилась лише наприкінці 80-х років ХХ ст. [4].

Програмну інженерію визначають як науку побудови комп'ютерних програмних систем на інженерній основі за методами, засобами та інструментами програмування, сучасними стандартами процесів ЖЦ, менеджменту та керування якістю [7].

Результати порівняння системного та програмного інжинірингу наведено в табл. 2.

По суті, кодування становить менше 10 % часу роботи програмного інженера [4], а решта — припадає на наукові, інженерні, управлінські, економічні та виробничі роботи.

Таблиця 2

**ПОРІВНЯННЯ ФУНКЦІЙ І ХАРАКТЕРИСТИК
СИСТЕМНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ІНЖИНІРИНГУ**

ФУНКЦІЇ І ХАРАКТЕРИСТИКИ		
Системний інжиніринг		Програмний інжиніринг
Інтерпретація високорівневих, неясних вимог	Визначення потреб Визначення вимог	Розробка й деталізація до нижнього рівня точних вимог
Гарантування відповідності проєктів підсистем і ПЗ	Архітектурні рішення для системи/ПЗ Проектування системи/ПЗ	Формальні методи, процеси розробки ПЗ, методи та засоби, кодування
Перевірка коректності зовнішніх інтерфейсів, інтерфейсів між підсистемами і ПЗ	Розпізнавання стейкхолдерів, бачень і точок зору Установлення інтерфейсів, визначення правил і характеристик	Уведення в дію інтерфейсів між програмними модулями, даними й шляхами комунікацій
Оркестрування дисциплін Пошук компромісів на рівні системи	Пошук компромісів	Компроміси між повторним, новим та оновленим
Інтерфейс з клієнтом (не програмний)	Шляхи взаємодії з клієнтом (визначення вимог до ПЗ і проектування)	Інтерфейс з клієнтом (кодування)
Технічні і бізнес-цілі	Формування нефункціональних вимог	Атрибути якості ПЗ
ЖЦ придбання, V-модель зі зворотнім зв'язком	Гнучка (Agile) розробка	Спринти, релізи
Визначення підходів до верифікації/валідації	Визначення та виконання верифікації й валідації системи/ПЗ	Виконання верифікації та валідації ПЗ
Менеджмент програм	Керування швидкими змінами	Менеджмент проєктів ПЗ
Не стосується деталей		Не стосується технічного забезпечення
Спрямованість на широке охоплення		Спрямованість на глибину (ПЗ)

Спільною тенденцією системного та програмного інжинірингу є використання моделе-зорієнтованого підходу. Природна мова з усією її виразністю та зрозумілістю для позатехнічних фахівців не підходить належним чином для автоматизованого інжинірингу через

багатозначність, неточність і важкість формалізації. Тому з кінця 60-х років XX ст. для інжинірингу стало звичним використання цифрових моделей, але нині цей підхід значно змінився [8] — неявні моделі стали явними, вторинні моделі перетворились на основні, а описові — набули обов'язкового характеру. Нинішні моделі є настільки точними й повними, що стали звичним засобом для аналізу, комунікацій, порозуміння та узгодження. Крім цього, їх використання дає змогу поліпшити якість проекту за рахунок ранньої ідентифікації проблемних вимог, співвіднесення вимог з компонентами програмного та технічного забезпечення, ретельного відстеження виконання вимог, верифікації вимог і валідації проекту, зменшення помилок і підготовки узгодженої документації. Додатково до цього відбувається підвищення продуктивності, зменшення ризикованості та поліпшення точності оцінок вартості проекту.

Моделе-зорієнтований системний інжиніринг (Model-based Systems Engineering, MBSE) — це формалізоване застосування моделювання для підтримки формування вимог, проектування, аналізу, верифікації та валідації упродовж всього життєвого циклу системи [1]. При цьому модель є абстракцією системи й може подавати будь-який аспект системи з будь-якої точки зору. Отже, модель, по суті, складається з множини подань (описів, views) з використанням обраних нотацій, текстових описів, таблиць, засобів формалізації. Кожне подання складається із сукупності елементів, що є екземплярами елементів онтології в моделі. Водночас модель не є простим набором подань, а має точну структуру, визначену фреймворком (framework) через певну кількість точок зору (способів подань, методів опису, viewpoint). Точку зору тут можна розглядати як шаблон подань у рамках моделі. Кожна точка зору також складається з певної кількості відповідних елементів. Як подання має узгоджуватись з точкою зору, з якою його асоційовано, так і елементи подань візуалізують елементи точок зору і мають узгоджуватись з ними.

Серед обмежень MBSE можна назвати складність застосування модельного підходу до нефункціональних вимог. Незважаючи на декларовану простоту сучасних мов моделювання, не можна розраховувати на абсолютне розуміння моделі всіма зацікавленими особами. Слід враховувати також, що реалізація MBSE вимагає дисциплінованої та гарно підготовленої команди проекту та зрілих процесів організації.

У [9] визначено як провідні такі MBSE-методології, що визначають набори взаємопов'язаних процесів, методів і засобів: Harmony-SE, OOSEM, RUP SE, Vitech MBSE, JPL SA, OPM.

Harmony-SE від IBM Telelogic — підмножина процесів розробки інтегрованих систем (див. рис. 1) і програмного забезпечення Harmony (деякі постачальники вживають слово «процес» як синонім слова «методологія») [9].

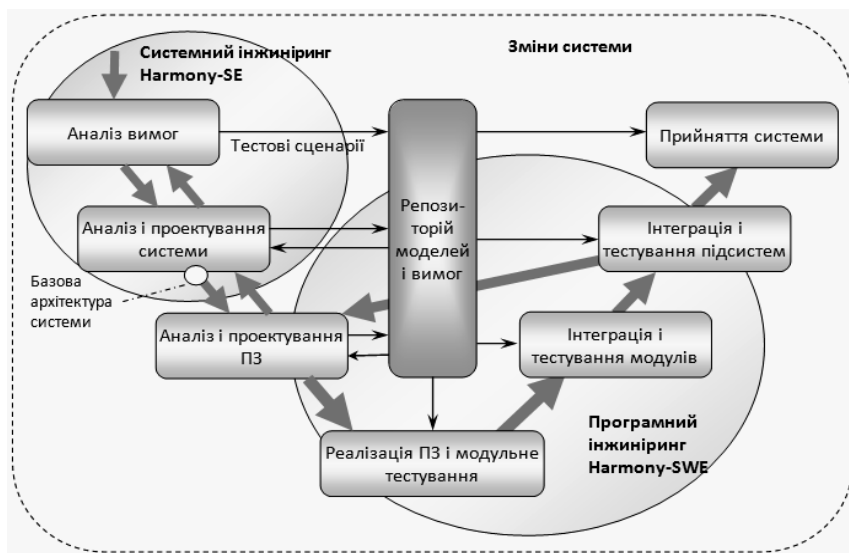


Рис. 1. Процес розробки інтегрованих систем і програмного забезпечення Harmony

Harmony-SE охоплює аналіз вимог, функціональний аналіз системи та архітектурне проектування й переслідує три головні цілі: виявлення потрібної функціональності системи, визначення асоційованих станів і режимів системи, а також розташування системних станів/режимів за фізичною архітектурою. Harmony-SE ґрунтується на класичній V-моделі життєвого циклу, маючи свою особливість створення репозиторіїв вимог, моделей, випробувань, що оновлюються на кожному етапі.

Harmony-SE використовує підхід до моделювання «керований запитом сервіс» (service request-driven) з артефактами мови SysML. Структура системи подається за допомогою структурних діаграм, базовим елементом яких є блок. Комунікації між блоками ґрунтуються на повідомленнях (запитах сервісу). Надані сервіси та зміни стану/режиму або операції (діяльність) описуються операційними контрактами. Функціональна декомпозиція проводиться через декомпозицію операційних контрактів діяльності.

SysML (The Systems Modeling Language, мова моделювання систем) є мовою загального призначення, що підтримує специфікацію, аналіз, проектування, верифікацію та валідацію систем. SysML є розширенням підмножини мови UML з використанням механізму профілів [1, 10].

Поява SysML є результатом рішення, прийнятого INCOSE у січні 2001 року щодо необхідності пристосування мови UML для потреб системного інжинірингу. Першу специфікацію було випущено в 2004 році як результат відкритого проекту за участю багатьох фахівців і постачальників інструментальних засобів (SysML Partners). З моменту затвердження специфікації OMG SysML v. 1.0 у 2006 році й до сьогодні тривають роботи з удосконалення мови за результатами її практичного використання, зокрема щодо мета-моделі та забезпечення сумісності MBSE-засобів.

Крім того, що UML орієнтована на моделювання програмних систем, а SysML — на широкий спектр застосувань системної інженерії, остання має й інші переваги:

- гнучкіша й виразніша семантика за рахунок двох додаткових діаграм — діаграми вимог, на основі якої відбувається інжиніринг вимог, і діаграми параметрів, що використовується для проведення аналізу продуктивності та чисельного аналізу. Як результат — SysML придатний для моделювання як програмного, так і технічного забезпечення, інформації, процесів, персоналу, обладнання тощо;
- компактність — має меншу кількість як діаграм, так і конструктивів;
- підтримка моделей, подань і точок зору для керування моделюванням.

Важливою особливістю SysML є механізм розподілу (allocation), який дає змогу з'єднувати елементи різних моделей. Зокрема, може здійснюватись прив'язка поведінки/функцій до компонентів, які цю поведінку/функції реалізують, прив'язка структури, що з'єднує логічні компоненти з фізичними, і прив'язка потоків об'єктів.

У SysML передбачено створення дев'яти діаграм, що мають чотири «опори»: структуру системи, її архітектурні елементи (логічні й фізичні) та їх взаємозв'язки; поведінку системи, включно зі зміною станів, послідовностями дій, функціями та взаємодією; вимоги до системи; параметри, тобто обмеження, що накладаються на систему (див. рис. 2).

При цьому діаграми вимог і параметрів є новими порівняно з UML, діаграми визначення блоків, внутрішніх блоків і діяльності є модифікаціями діаграм UML 2, а решта діаграм не мають особливостей.

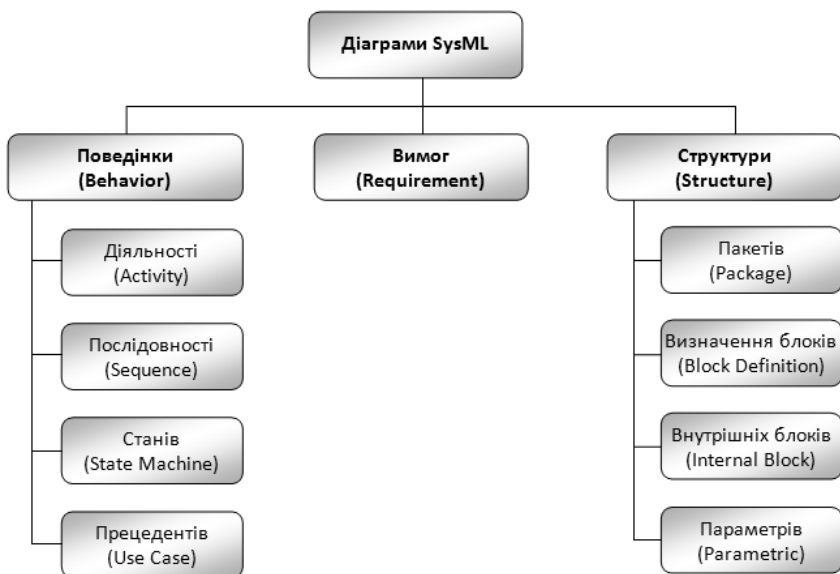


Рис. 2. Діаграми мови SysML

Діаграма визначення блоків (Block definition diagram) описує системну ієрархію та класифікацію систем і компонентів. Фактично блоки є аналогом класів UML. Діаграма внутрішніх блоків (Internal block diagram) подає внутрішню структуру системи в термінах частин, портів і конекторів. Діаграма пакетів використовується для організації моделі.

Діаграма варіантів використання (Use case diagram) містить високорівневий опис функціональності системи. Діаграма діяльності (Activity diagram) подає потоки даних і контролю між діями. Порівняно з UML, потік контролю доповнено керуючим оператором, створено можливість моделювати безперервні системи, з потоком можна асоціювати ймовірність і розширено правила моделювання. Діаграма послідовностей (Sequence diagram) відображає взаємодію між частинами системи, що працюють сумісно. Діаграма станів (State machine diagram) описує переходи між станами та дії, які їх система або її частини мають здійснити у відповідь на події.

Діаграма параметрів (Parametric diagram) містить обмеження на значення параметрів системи, такі як продуктивність, надійність, маса тощо, необхідні для інженерного аналізу. По суті, це спеціалізований тип діаграми внутрішніх блоків, що подає блоки

обмежень, їх параметри та властивості блоків, до яких обмеження й блоки відносяться. Для підтримки такого моделювання передбачено окремий тип блока — `ConstraintBlock` (блок обмежень), який визначає множину параметрів та одне чи більше обмежень для них. За замовчуванням, параметри є не зорієнтованими й не мають позначень причинно-наслідкових зв'язків. `ConstraintBlock` можна використовувати для побудови математичних виразів, обчислення статистичних показників або функції корисності. `SysML` також дає змогу визначити типи значень, зазначивши одиниці виміру, розмірність і розподіл ймовірностей для опису властивостей блоків.

Діаграма вимог (`Requirement Diagram`) подає ієрархію вимог і відношення залежності, такі як походження (`derive`), задоволення (`satisfy`), верифікації (`verify`), уточнення (`refine`), відстеження (`trace`) з можливим обґрунтуванням (`rationale`). Для забезпечення можливості повторного використання вимог передбачено відношення копіювання (`copy`) між вимогою-«хазяїном», тобто оригіналом, і вимогою-«рабом», тобто копією, випадком повторення вимоги-«хазяїна». Відношення надають можливість зіставити вимоги між собою й пов'язати їх з проектними моделями та контрольними прикладами. Для зручності сприйняття вимоги в `SysML` можуть також подаватись у вигляді таблиць.

Діаграма вимог є засобом зв'язку між традиційними засобами керування вимогами й системними моделями. Оскільки не завжди всі архітектурні, дизайнерські та тестувальні артефакти подаються на основі `SysML`, може відбуватись переведення (мепінг) вимог `SysML` у формат `RIF` (`ReqIF`, `Requirements Interchange Format`) — XML-сумісний формат файлів для обміну вимогами між програмами різних розробників, що підтримується `OMG` і використовується в багатьох галузях [11]. Водночас відбувається узгоджування `RIF`, `SysML` та `AP 233`.

`AP 233` — це частина `ISO 10303`, який неформально називають стандартом обміну даними моделей продукту (`STandard for the Exchange of Product model data, STEP`) [12]. По суті, `ISO 10303` є сімейством стандартів, що визначають надійну перевірену часом методологію опису даних продукту впродовж його життєвого циклу. `STEP` широко використовується для систем автоматизованого проектування (`Computer-Aided Design, CAD`) і керування даними продукту та життєвим циклом (`Product data/lifecycle management, PDM/PLM`) у багатьох галузях, зокрема аерокосмічній та автомобільній, а також кораблебудуванні. Протоколи додатків (`Application Protocol, AP`), що входять до складу `ISO`

10303, стосуються специфічних продуктів і процесів. AP 233 спрямований на системний інжиніринг і проектування, має модульну структуру (див. рис. 3) й охоплює поведінку та структуру системи, моделювання системи, підтримку рішень, вимоги, аналіз і закупки, менеджмент програм і проектів, верифікацію й валідацію, керування ризиком і проблемами.



Рис. 3. Модулі AP 233

Його розроблено як нейтральну інформаційну модель для обміну даними між інструментальними засобами системного інжинірингу, автоматизованого проектування, опису архітектури системи та іншими, взаємопов'язаними з ними.

AP 233 та SysML відрізняються термінологією та обсягами, їх визначено на основі різних фреймворків. Водночас, оскільки SysML є сумісним з UML, а AP 233 базується на структурі мови моделювання даних про виробництво EXPRESS, то сумісність EXPRESS та UML 2 уможливило обмін даними між AP 233 та SysML. Слід також зазначити, що під егідою OMG було проведено роботи з мепінгу AP 233 та SysML [13].

Об'єктно-орієнтований метод інжинірингу систем від INCOSE (Object-Oriented Systems Engineering Method, OOSEM) [14] — заснований на моделях SysML метод підтримки специфікації, аналізу, проектування та верифікації систем. OOSEM поєд-

нує об'єктно-орієнтовану концепцію з традиційними методами інжинірингу «згори-донизу» та іншими методами моделювання з метою полегшення інтеграції з об'єктно-орієнтованою розробкою програмного забезпечення, розробкою технічного забезпечення й тестування, а також підтримки повторного використання систем та еволюції проекту.

Основними видами діяльності за OOSEM є аналіз потреб стейкхолдерів, визначення вимог до системи, логічної архітектури, синтез варіантів архітектур, підготовлених на основі логічної, оптимізація та оцінювання альтернатив, валідація й верифікація системи. При цьому передбачається використання таких специфічних прийомів і методів, як каузальний аналіз, моделювання підприємства, опрацювання контексту, аналіз варіацій вимог, системна та логічна декомпозиція, критерії розмежування, розподіл вузлів.

Рациональний уніфікований процес системного інжинірингу (Rational Unified Process for Systems Engineering, RUP SE) від IBM — методологія RUP, адаптована для системного інжинірингу в частинах специфікації, аналізу, проектування й розроблення систем з підтримкою моделі-керованої розробки (Model-Driven Systems Development, MDSD) [15]. Базові принципи RUP, такі як паралельність проектування та ітеративної розробки, було збережено й доповнено придатними для конфігурування шаблонами потоків робіт і дисциплін з визначення компонентів технічного й програмного забезпечення, а також робочих ролей з інжинірингу системи. Так само як і RUP, RUP SE має на меті підтримку систематичного визначення, організації, обговорення та керування вимогами. Обидві методології підтримують керування змінами та контроль якості. Ключовими елементами, доданими в RUP SE, є такі:

- нові ролі — додатково до архітекторів, розробників, тестувальників та ін. передбачається робоча роль системного інженера, пов'язана передусім зі специфікацією та розгортанням усієї системи, а також оперуванням загальносистемними вимогами;

- нові артефакти й потоки робіт — якщо RUP охоплює такі сфери, як зручність використання (юзабіліті), можливість підтримки, продуктивність, масштабованість, то RUP SE доповнено доменом системного інжинірингу, що стосується безпеки, навчання та підтримки логістики;

- акцент на бізнес-моделюванні — RUP SE не вносить змін до бізнес-моделювання RUP, але рекомендує аналізувати бізнес-прецеденти з пов'язаними з ними бізнес-акторами й потоками бізнес-подій задля коректного визначення системних вимог, а також виведення останніх з бізнес-вимог;

– точки зору для системного інжинірингу — RUP SE передбачає вимірювання архітектури системи за способами подання (viewpoint) і рівнями моделювання (model level) (див. табл. 3).

Таблиця 3

АРТЕФАКТИ RUP SE ЗА РІВНЯМИ МОДЕЛЮВАННЯ І ТОЧКАМИ ЗОРУ

Рівень моделювання	Точка зору					
	Виконавська (worker)	Логічна (logical)	Інформаційна (information)	Дистриб'юції (distribution)	Процесна (process)	Геометрична (geometric)
Контекст (Context)	Визначення ролей, моделювання діяльності	Специфікація діаграми прецедентів	Подання даних підприємства	Подання, специфічні для предметної області		Подання, специфічні для предметної області
Аналіз (Analysis)	Поділ системи	Логічна декомпозиція продукту	Концептуальна схема даних продукту	Подання локалізації продукту	Подання процесів продукту	Макети
Проектування (Design)	Інструкції	Проектування компонентів ПЗ	Схема даних продукту	Проектування засобів медіа-контролю	Часові діаграми	Автоматизоване проектування (CAD)
Реалізація (Implementation)	Конфігурація технічного та програмного забезпечення					

Комірки таблиці відповідають поданням. Точки зору відповідають певному набору проблем стейкхолдерів. Зокрема, подання дистриб'юції описує, як функціональність системи поширюється за фізичними ресурсами. Локалізація в цьому контексті є частиною системи, узагальненим або абстрактним поданням фізичних ресурсів. Рівень моделювання визначається як підмножина архітектурних моделей, що подають певний рівень специфікації (від абстрактного до конкретного), нижчі рівні більше відображають технологічну специфіку. Рівень моделювання не є рівнем абстракції, більше того, рівень моделювання може містити кілька рівнів абстракції. На одному рівні моделювання групуються артефакти з однаковим рівнем деталізації;

– поліпшення масштабованості — системна архітектура подається множиною UML/SysML-діаграм для опису її за різними

точками зору й рівнями моделювання. Відповідні нові артефакти дають можливість розділити систему на підсистеми і за локалізаціями, де безпосередньо відбувається оброблення. До кожної підсистеми разом з її локалізацією висувається окремий набір вимог, що за рахунок масштабування дає змогу працювати з дуже великими та складними проектами;

- закріплені й похідні вимоги — у RUP SE передбачено два типи системних вимог: функціональні, що відповідають прецедентам, і додаткові, що охоплюють нефункціональні вимоги (показники якості), такі як надійність та супроводжуваність. Вимога до підсистеми або локалізації вважається закріпленою за цією підсистемою або локалізацією, якщо останні несуть виключну відповідальність за виконання цієї системної вимоги. Якщо вимогу визначено в результаті вивчення взаємодії окремої підсистеми або локалізації з іншими для виконання системної вимоги, її називають похідною;

- деталізований розгляд діяльності на рівні підсистем — RUP SE регламентує виведення системних вимог з бізнес-вимог через деталізацію прецедентів, а додатково до цього — специфікацію потоку подій на рівні підсистем, такий додатковий крок необхідний для прийняття рішень щодо місця події та співвіднесення подій і процесів;

- підтримка проектування додаткових компонентів — якщо RUP зосереджено на програмному забезпеченні, то RUP SE підтримує різні компоненти, зокрема технічне забезпечення, їх окреслення підтримується аналізом описів прецедентів підсистем і локалізацій, що генеруються до розробки проектних рішень.

Методологія моделі-керованого системного інжинірингу від Vitech (Vitech MBSE) — корпорація Vitech пропонує свою методологію як набір підручників із прив'язкою до власного набору інструментів CORE [16]. В основу MBSE-методології Vitech покладено чотири взаємопов'язані паралельні види діяльності з системного інжинірингу, що підтримуються спільним репозиторієм системного проекту (рис. 4):

- аналіз початкових вимог;
- функціональний/поведінковий аналіз;
- валідація та верифікація проектних рішень (validation & verification, V&V);
- синтез/архітектура.

Кожен з названих видів діяльності має контекст у вигляді однойменного домену.

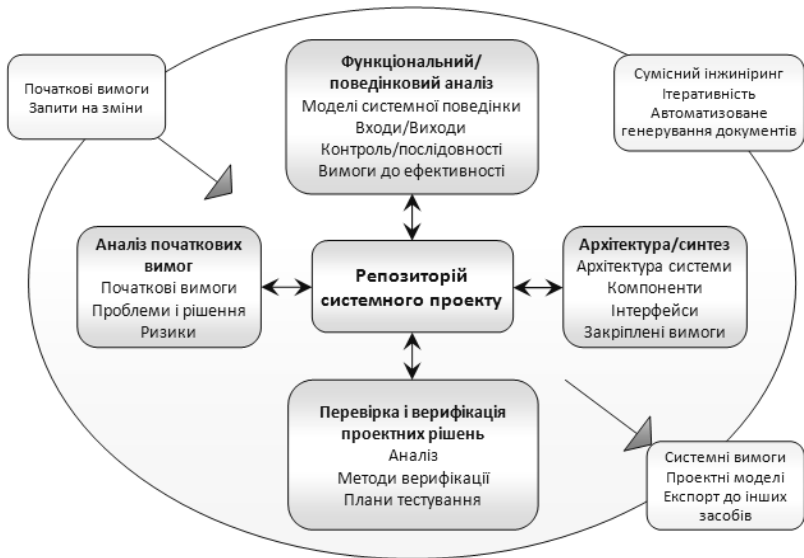


Рис. 4. Основні види діяльності за Vitech MBSE

Базовими положеннями методології Vitech MBSE є такі:

- моделювання проблеми й простору рішень з використанням спеціальної мови моделювання та семантично-значущої графіки для забезпечення відстежуваності моделі, послідовності графічних зображень, автоматичного документування, перевірки синтаксису й семантики артефактів, динамічної верифікації та імітування, генерування графічних подань і звітів, автоматичного контролю узгодженості, а також підтримки технічних комунікацій аналітиків вимог, системних дизайнерів і розробників. Як наголошується в методології, мова визначення системи (System Definition Language, SDL) має бути структурованою, загально-орієнтованою, точною, контекстно та інструментально незалежною;
- використання репозиторію проектних рішень системи;
- використання інструментальних засобів для рутинної роботи й зосередження працівників на творчих завданнях;
- «горизонтальний» інжиніринг має передувати «вертикальному». На виконання цієї вимоги запропоновано «модель цибулі» (Onion Model) — інкрементний процес з ітераціями основних паралельних видів діяльності на кожному рівні. Коли роботи на певному рівні проекту системи завершено, слід зняти цей «шар цибулі» й перейти до наступного. Проектування вважається заве-

решенням, коли досягнуто бажаний рівень деталізації. Команда не може повернутись назад більш як на один рівень. Якщо дієвого узгодженого рішення немає на жодному з рівнів, слід зменшити жорсткість умов та обговорити модифікації проектних рішень, які можна внести на попередньому рівні. «Модель цибулі» підтримує дві часові лінії системного інжинірингу — проектування «згори-донизу» і зворотний інжиніринг.

Як необхідні й достатні для повного опису системи визначено три моделі: модель контролю (функціональної поведінки), модель інтерфейсу (введення/виведення) і модель фізичної архітектури (компонентів). Вимоги до продуктивності та ресурси співвідносять з частинами або комбінаціями названих трьох моделей. Завершення розробки цих моделей означає закінчення системного інжинірингу — розроблено проектні специфікації всіх системних компонентів, плани валідації та верифікації визначено й повністю відстежено.

Хоча із самого початку для функціонального аналізу (аналізу поведінки) у Vitech MBSE було передбачено підтримку візуальних моделей поведінки й конструкцій виконуваною графічною мовою EFBFDs (Enhanced Function Flow Block Diagrams, розширені діаграми функцій, потоків, блоків), а також діаграм FFBD, N2-діаграм і діаграм поведінки, згодом було додано підтримку DoDAF і SysML, зокрема засобами CORE Spectrum і GENESYS.

Аналіз станів JPL (JPL State Analysis, SA) — розроблена Лабораторією реактивного руху (Jet Propulsion Laboratory, JPL) MBSE-методологія, що використовує переваги моделювання та станозорієнтованих підходів. Стан визначається як подання зафіксованого в певний момент становища системи, що розвивається, а моделі описують, як змінюються стани [8].

SA передбачає процес фіксування вимог до системи й ПЗ у формі явних моделей, зменшуючи відмінності між вимогами до ПЗ, сформульованими системними інженерами, і реалізацією цих вимог програмними інженерами за рахунок прямого перекладання вимог на ПЗ і кращого розуміння програмістами потрібної поведінки системи. При цьому розрізняють «стан системи» й «знання про цей стан». Справжній стан системи може бути вкрай складним, але зазвичай знання про нього фіксуються в простіших абстракціях, корисних і достатніх для його характеристики, — «змінних стану». Тоді відомий стан системи — це значення змінних стану в певний момент часу. Визначення стану й моделі надає змогу оперувати системою, прогнозувати її майбутній стан, спрямовувати її до бажаного стану та оцінювати ефективність.

Ключові характеристики:

- стан є явним — знання про стан системи, що контролюється, подається набором змінних стану;

- оцінювання стану відокремлюється від його контролю — їх пов'язують лише змінні стану. Ця вимога сприяє об'єктивному оцінюванню стану системи й модульності, забезпечує послідовне використання стану по всій системі, спрощує проектування, прискорює реалізацію в ПЗ;

- технічні адаптери забезпечують виключний інтерфейс між системою, що контролюється, і контрольною системою. Вони формують межу архітектури, забезпечують всі вимірювання та абстракції команд, що використовуються для контролю й оцінювання, відповідають за трансляцію та керування входами й виходами;

- усеохоплюючі моделі — моделі використовуються як для виконання (оцінювання та контролю стану), так і для високорівневого планування (керування ресурсами). Методологія SA вимагає, щоб моделі документувались в явній формі, найзручнішій для певного додатку;

- ціле-зорієнтований процес замкнутого циклу — замість опису бажаної поведінки в термінах низькорівневих команд відкритого циклу, SA використовує цілі, що є обмеженнями для змінних станів у певні інтервали часу;

- пряме переведення в програмне забезпечення — для контрольованих елементів установлюється пряма відповідність з компонентами модульної архітектури. Прикладом такої архітектури є Система даних місії — архітектура вбудованого програмного забезпечення, роботизованих кораблів-розвідників [17].

Методологія SA також має три керівні принципи:

- контролю підлягають усі аспекти оперування системи. Він здійснюється лише на основі моделей системи, що контролюється. При цьому контрольна система має чітко відокремлюватись від системи, що контролюється;

- моделі системи, що контролюється, мають бути недвозначно визначені й використані в спосіб, який забезпечує згоду системних інженерів. Розуміння стану є фундаментальною умовою для успішного моделювання. Усі необхідні знання та всі потрібні дії мають бути виражені в термінах стану системи, що контролюється;

- створення моделей з мінімізацією подальших перетворень, необхідних для проектувальників і розробників.

Методологія SA визначає ітеративний процес виявлення та моделювання станів з належною розробкою моделей упродовж усього життєвого циклу проекту. Рекомендується використання

бази даних станів (State Database), що містить інформацію, зазвичай оформлену у різних артефактах системного інжинірингу. Додатково описано механізми використання моделей для проектування артефактів ПЗ та оперування системою. Таким чином, SA спрямована на три головні види діяльності — моделювання поведінки на основі станів, що зумовлює проектування ПЗ на основі станів і ціле-орієнтований операційний інжиніринг.

Підхід SA може здаватись значним відходом від документо- і modele-зорієнтованого проектування, хоча насправді ця методологія доповнює функціональний аналіз modele-зорієнтованого процесу. Ітеративний процес декомпозиції як частина традиційного функціонального аналізу має за результат ієрархії функцій, фізичних компонентів (структура розбивки продукту) і вимог, пов'язаних між собою (рис. 5).

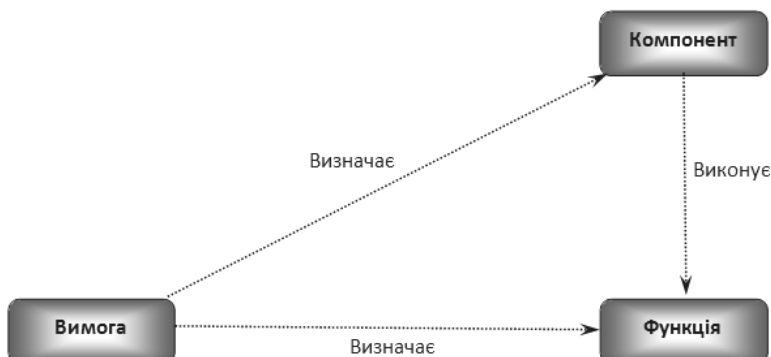


Рис. 5. Елементи та відношення за функціональним аналізом

SA доповнює їх змінними станів, командами й вимірами (рис. 6).

Об'єктно-процесна методологія Дорі (Dori Object-Process Methodology, OPM) — концептуальний підхід до розробки систем, підтримки життєвого циклу та еволюції [18]. OPM-методологія містить формальні візуальні моделі — діаграми об'єктів-процесів (Object-Process Diagrams, OPDs) та описів функцій, структури й поведінки обмеженою природною мовою OPL (Object Process Language, мова об'єктів і процесів). Кожен OPD-конструкт виражається семантично еквівалентним OPL-реченням або частиною речення й навпаки. OPL є мовою з подвійним призначенням, вона зорієнтована як на людину, так і на машину. Методологію прийнято як стандарт ISO/PAS 19450 «Automation systems and integration — Object-Process Methodology (OPM)».

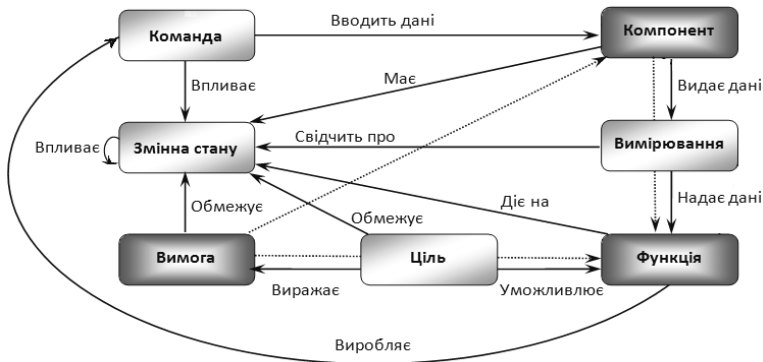


Рис. 6. Елементи та відношення за аналізом станів, синтезованим з функціональним аналізом

ОРМ ґрунтується на передумові, що все в світі, зрештою, є або об'єктом, або процесом, тому в методології об'єкти й процеси є будівельними блоками вищого рівня, що узагальнено називаються речами. На рівні моделювання в ОРМ передбачено три типи сутностей:

- об'єкти — речі, які існують реально або потенційно, фізично або ментально;
- процеси — зразки трансформації об'єкта;
- стани — ситуації, в яких може бути об'єкт.

Об'єкти існують, а процеси трансформують їх шляхом генерування, споживання або впливу. Стани використовуються для опису об'єктів і є невід'ємними від останніх. Кожної миті кожен об'єкт може мати лише один стан.

ОРМ підтримує багату семантику моделювання. Зокрема, усі можливі зв'язки розділено на структурні, які виражають постійні довготривалі відношення між об'єктами або процесами в системі, і процедурні, які виражають поведінку системи. Структурні зв'язки використовують для подання агрегації/участі, прояву/характеристики, узагальнення/спеціалізації, класифікації/виявлення прикладу. За допомогою процедурних зв'язків відображають стимулювання, трансформування, а також вплив подій, умов і викликів. Подані на одній діаграмі, структурні й процедурні зв'язки подають повну картину системи однією графічною моделлю із супроводжувальним текстом.

Додатково ОРМ підтримує керування складністю за допомогою механізмів уточнення/абстракції, що дають змогу описувати систему на будь-якому бажаному рівні деталізації без втрати чіткості й зрозумілості специфікації: розгортання/згортання

(unfolding/folding) структурної ієрархії, збільшення/зменшення (in-zooming/out-zooming) для показу/приховування внутрішніх деталей, вираження/замовчування стану (state expressing/suppressing) для оперування показом станів об'єкта.

Оскільки термін «процес» є терміном методології і має специфічну семантику, в ОРМ для позначення життєвого циклу системи використовується словосполучення «еволюція системи» і «ОРМ-системний процес». Масштабування на рис. 7 показує, що розробка системи за Дорі складається зі стадій опису вимог, аналізу та проектування, реалізації, використання й підтримки. Усі ці процеси використовують єдину ОРМ-онтологію, що зменшує розриви між стадіями.

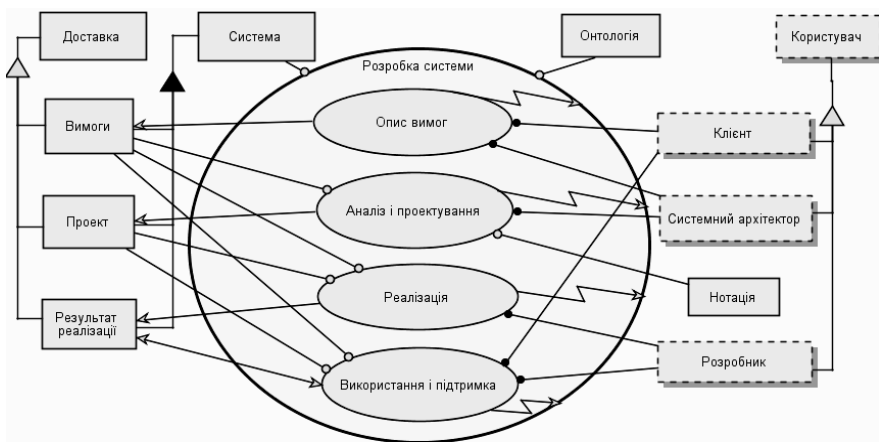


Рис. 7. Об'єктно-процесна діаграма «Розробка системи»

Для вдосконалення проекту й перевірки його на помилки, повноту та відповідність встановленій меті рекомендовано проводити статичне й динамічне тестування, зокрема анімацію системи, яка імітує поведінку системи з урахуванням подій, умов, розгалужень і циклів. Виявлені помилки та недоробки коригуються на рівні моделі до початку реалізації.

Стадія реалізації починається з визначення профілю, який містить, зокрема, цільову мову програмування. Після цього на основі ORL-скрипту та внутрішніх правил, які містять пари «тип ORL-речення — шаблон мовою програмування», автоматично генерується основа для реалізації, що містить як структурні, так і поведінкові аспекти системи. Під час відлагодження та тестування основа, модифікована в програмну систему, зіставляється

з вимогами і в разі їх повного й правильного виконання передається для використання. Під час підтримки клієнт збирає нові вимоги, що записуються за допомогою вбудованого механізму в OPM-форматі, для реалізації в новому поколінні системи.

За результатами проведеного аналізу зроблено висновок, що загальноприйнятою практикою є використання мови SysML, яка для системного інжинірингу стала стандартом де-факто, — практично всі сучасні методології або ґрунтуються на ній, або підтримують. При цьому слід зазначити, що SysML не замінює собою методологію, так само, як MBSE є незалежним від певного типу діаграм — вирішальним критерієм під час їх вибору є придатність способу подання системи для потреб користувача або аудиторії.

Альтернативою SysML є OPM. Їх порівняння наведено в табл. 4 [18].

Таблиця 4

ПОРІВНЯННЯ SYSML І OPM

Характеристика	SysML	OPM
Теоретичне підґрунтя	UML, об'єктно-орієнтований підхід	Мінімальна універсальна онтологія, об'єктно-процесна теорема
Обсяг документації (сторінки)	≈1670 (з них 1400 з UML)	≈180 (стандарт ISO 19450 з додатками)
Установа стандартизації	OMG	ISO
Кількість типів діаграм	9	1
Об'єкт верхнього рівня	Блок (об'єктний клас UML)	Річ (об'єкт або процес)
Керування складністю	Декомпозиція на основі аспектів	Декомпозиція за рівнем деталізації
Ієрархічна декомпозиція	На деяких типах діаграм	Так
Кількість символів	≈120	≈20
Графічне подання	Так	Так
Текстове подання	Ні	Так
Вбудована розрізнювання «фізичне — інформаційне»	Ні	Так
Розрізнювання «системне — зовнішнє»	Частково (використання границь)	Так
Логічні умови	Ні	Так
Моделювання ймовірності	Ні	Так
Можливості з виконання, анімаційної імітації, валідації, верифікації	Частково (у деяких засобах для деяких діаграм)	Так
Доступність автоматизованих засобів	Багато, частина — доступні безоплатно	OPCAT

Принциповими відмінностями OPM від SysML є:

- розгляд процесів на рівні з об'єктами, на відміну від об'єктно-орієнтованого підходу, згідно з яким процеси інкапсулюються в об'єктах. SysML розглядає процеси опосередковано, як прецедент, діяльність, дію, метод або послідовність, ураховуючи різні аспекти й конотації;

- як об'єкти, так і процеси можуть бути фізичними або інформаційними, системними (частиною системи) або екзогенними (частиною оточуючого середовища, що взаємодіє із системою);

- єдиний тип діаграм — об'єктно-процесна, на відміну від SysML/UML, у якому кожен аспект подається окремим типом діаграм. Взаємопов'язані OPD-діаграми подають частини системи з різним ступенем деталізацій і становлять чітку ієрархію. Хоча OPM не передбачає таких важливих для інжинірингу елементів, як параметричні обмеження у SysML, їх можна подати атрибутами зі значеннями, якими оперують під час обчислень. З одного боку, мінімальність онтології дає змогу уникнути ускладнення моделі й зробити її максимально зрозумілою для всіх читачів, а за допомогою механізмів розгортання та масштабування можна вибрати потрібний ступінь деталізації. З іншого боку, підхід «структура-поведінка» робить проблематичним відображення множинності способів взаємодії компонентів системи. Водночас SysML, як і UML, передбачаючи діаграми для всебічного опису поведінки, збільшують відповідно їх кількість;

- використання природної мови. Тоді як використання текстових документів для проектування супроводжується ризиком неповного й помилкового формулювання проектних рішень, вони є невід'ємним засобом забезпечення комунікацій та обговорень різнорідними групами, до яких, крім інженерів, можуть входити споживачі, користувачі, стейкхолдери, менеджери, експерти та інші особи, які не мають спільних для всіх контексту й нотації. Генерування документів з OPD-моделей виключає помилки в них і залишає моделі єдиним джерелом знань про систему. Водночас типи OPL-речень можуть бути використані як шаблони для формулювання вимог до системи на основі аналізу природномовних документів і зв'язки вимог і моделей з документами предметної області.

Для того, щоб скористатися перевагами обох підходів, слід установити відповідність між діаграмами:

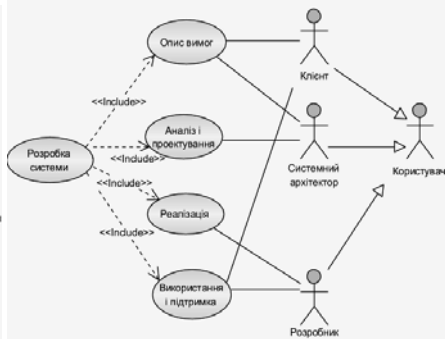
- для діаграми прецедентів фізичні екзогенні об'єкти кореневої об'єктно-процесної діаграми розглядають як актори, а процеси — як прецеденти. На рис. 8 подано варіанти діаграм прецедентів,

```

    graph LR
      UC1([Розробка системи])
      Actor1[Клієнт]
      Actor2[Системний архітектор]
      Actor3[Розробник]
      Actor4[Користувач]

      UC1 --- Actor1
      UC1 --- Actor2
      UC1 --- Actor3
      Actor1 --> Actor4
      Actor2 --> Actor4
      Actor3 --> Actor4
  
```

The diagram illustrates the relationships between actors and a use case in a system development process. The actors are represented by stick figures and labeled: "Клієнт" (Client) at the top, "Системний архітектор" (System Architect) in the middle, "Розробник" (Developer) at the bottom, and "Користувач" (User) on the right. The use case is represented by an oval on the left labeled "Розробка системи" (System Development). Lines connect the use case to each of the three development actors. Additionally, lines with hollow triangle heads connect each of the three development actors to the "Користувач" actor, indicating that they all provide services or information to the user.



- для діаграми визначення блоків добирають системні об'єкти та структурні відношення між ними та іншими елементами;
- діаграми діяльності можна скласти за всіма ОРМ-процесами, що містять підпроцеси, подані за допомогою збільшення. Під час визначення контрольних потоків слід аналізувати ОРМ-семантику — розташування процесів і типи зв'язків між ними.

- створення метамоделі системного інжинірингу й забезпечення явних семантичних зв'язків між високорівневою архітек-

турною моделлю та деталізованими аналітичними моделями з підтримкою міжмодельних трансформацій;

- визначення алгоритмів і правил перекладу системних моделей, розроблених загально-орієнтованими мовами, на мови предметно-орієнтовані, зокрема під час програмної інженерії у виконуванні моделі програмних систем із залученням відповідних знань;

- підтримка викладення системних моделей природною мовою та автоматичного генерування моделей обраною мовою моделювання на основі природномовних текстів;

- збільшення семантичної та прагматичної складових моделей для забезпечення автоматизованого узгодження вимог з інтересами стейкхолдерів, валідації, верифікації та аналізу проектних рішень, оцінювання та добору варіантів з їх обґрунтуванням, візуалізації моделей за інтересами й потребами окремих користувачів або їхніх груп.

Література

1. *Holt J., Perry S.* SysML for Systems Engineering: A model-based approach. –London, IET Publishing, 2013. — 876 p.

2. *INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities.* — INCOSE, 2015. — 315 p.

3. *Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK)* — режим доступу [http://www.sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_\(SEBoK\)](http://www.sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_(SEBoK))

4. *Laplante Ph. A.* What Every Engineer Should Know about Software Engineering. — CRC Press, 2007. — 298 p.

5. *Estefan J. A.* Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies — режим доступу http://www.omgsysml.org/MBSE_Methodology_Survey_RevB.pdf

6. *SE Standards* — режим доступу <https://www.incose.org/about-systems-engineering/se-standards>

7. *Лавріщева К. М.* Програмна інженерія. — К.: Академперіодика, 2008. — 319 с.

8. *Holt J. and oth.* Foundations for Model-based System Engineering. From Patterns to Models. — The Institution of Engineering and Technology, 2012. — 360 p.

9. *Douglass B. P.* Harmony aMBSE Deskbook Version 1.00. Agile Model-Based Systems Engineering Best Practices with IBM Rhapsody — режим доступу https://docs.wixstatic.com/ugd/21dc4f_4991d336015d4207b2d42d3ba1fc8d28.pdf

10. About the OMG System Modeling Language Specification. Version 1.5. — режим доступу <https://www.omg.org/spec/SysML/>
11. About the Requirements Interchange Format Specification. Version 1.2 — режим доступу <https://www.omg.org/spec/ReqIF/1.2/>
12. *U'Ren J.* An Overview of AP233 STEP's Systems Engineering Standard — режим доступу <https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2003/systems/slides.ppt>
13. SysML and AP233 Mapping Activity — http://www.omgwiki.org/OMGSysML/doku.php?id=sysml-ap233:mapping_between_sysml_and_ap233
14. INCOSE Object-Oriented Systems Engineering Method (OOSEM) — режим доступу <http://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php?id=mbse:incseoosem>
15. Rational Unified Process for Systems Engineering. RUP SE1.1. — режим доступу <ftp://ftp.software.ibm.com/software/rational/web/whitepapers/2003/TP165.pdf>
16. *Long D., Scott Z.* A Primer for Model-based Systems Engineering. — режим доступу http://www.ccose.org/media/upload/MBSE_Primer_2ndEdition_full_Vitech_2011.10.pdf
17. *Dvorak D. and oth.* Software Architecture Themes In JPL's Mission Data System — режим доступу <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.459.3789&rep=rep1&type=pdf>
18. *Dori D.* Model-based Systems Engineering with OPM and SysML. — Springer, 2016. — 411 p.

**Краснюк М. Т., к.е.н., доц.
Кустаровський О. Д., асп.**

КОНЦЕПЦІЯ ТА МЕТОДОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ АДАПТИВНОЇ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Головна мета проектування та реінжинірингу логістичної інформаційної системи (ЛІС) — поліпшення ефективності функціонування логістичних процесів підприємства, оптимізація всіх його бізнес-процесів.

Зокрема, без ефективної та адекватної ЛІС менеджменту вітчизняної логістичної компанії складно оптимально та оперативно здійснювати управління такими класичними прийомами логістики, як: інтеграція ланцюжка створення вартості, оцінювання ефективності маршрутів, використання інтелектуальних інформаційних технологій, оптимізація комунікацій, прогнозування

попиту, глибинний аналіз витрат, використання сценарного підходу до моделювання.

Потреба трансформації/реінжинірингу класичних ЛПС у розвинутих країнах передусім стимулюється необхідністю швидкої реакції виробників на кон'юнктуру ринку, прагненням у короткий термін адаптуватися в мінливих ситуаціях, а в нашій країні — додатковою потребою швидко адаптуватися до динамічних макро- та мікроекономічних загроз [1].

Тому оптимальна та ефективно діюча адаптивна ЛПС у транспортно-експедиційній компанії забезпечує не тільки додаткову конкурентну перевагу, а й є важливим антикризовим інструментом.

Для проектування або реінжинірингу ЛПС треба враховувати теорію структурної побудови логістичних систем. Отже, кожна логістична система будується з спільності елементів (ланок), між якими відбуваються певні зв'язки й відносини. Ланка логістичної системи є економічно та функціонально автономним об'єктом, який є атомарним у межах обраного рівня аналізу (функціональної задачі) [2].

Ланки логістичної системи можуть бути трьох основних видів: ті, що генерують потоки, ті, що їх перетворюють та споживачі потоків. Їм відповідають відповідні інформаційні потоки. Найчастіше зустрічаються змішані види логістичної системи, в яких три перелічені характеристики поєднуються між собою.

У ланках логістичної системи матеріальні, грошові, інформаційні потоки можуть об'єднуватися, розподілятися й змінювати свої характеристики.

Ланками логістичної системи можуть бути окремі підприємства, їх підрозділи.

При проектуванні структури логістичних систем треба враховувати специфічні характеристики окремої ланки логістичної системи:

- 1) різні форми власності й організаційно-правові форми, відповідні особливості в характері та цілях їх роботи;
- 2) різна потужність і концентрація застосовуваного технологічного устаткування й використовуваних ресурсів;
- 3) розосередження технічних засобів і трудових ресурсів на великій території;
- 4) залежність підсумків діяльності від безліч зовнішніх факторів і суміжних ланок;
- 5) значна мобільність транспортних засобів;

Велика різноманітність типів ланок логістичної системи та різноманітність їх характеристик і зв'язків ускладнює проектування та подальше управління логістичною системою.

Основними вимогами, які треба враховувати при проектуванні сучасної ЛІС для вітчизняного логістичного підприємства, є такі:

- синхронізація та координація між фінансовими, інформаційними, логістичними та матеріальними логістичними потоками;
- узгодженість, послідовність і комплексність дій різних часових періодів, різних шаблів управління;
- реальність завдань, правильне та повне використання інформації, оптимальне прийняття логістичних рішень.

Відповідно до принципів системного підходу будь-яка система спочатку повинна досліджуватися щодо взаємовідносин із зовнішнім середовищем, а вже потім в межах своєї структури. Цього принципу треба дотримуватися при проектуванні логістичних інформаційних систем.

У некризових умовах існує кілька головних підходів до визначення головної мети при побудові й проектуванні ЛІС:

- мінімізація витрат логістичного ланцюга;
- забезпечення найбільшої адаптивності, еластичності та надійності логістичних операцій;
- змішаний інтегральний показник мети проектування ЛІС.

При проектуванні ЛІС необхідно завжди приділяти велику увагу загальним принципам побудови ЛІС [3]:

1) принцип достовірності й точності передбачає відсутність помилок при формуванні бази даних накопиченої інформації;

2) принцип безперервності означає систематичне збирання, накопичення та обробку інформації;

3) принцип оперативності й своєчасності виникає через вимогу швидкого дослідження ринку та пошуку необхідної інформації через постійну динамічність зовнішнього середовища діяльності підприємства;

4) принцип раціональності та повноти збирання інформації передбачає пошук тільки необхідної та повної інформації, що стосується діяльності підприємства, для формування всебічного аналізу та пошуку рішень;

5) принцип економності зумовлений високою вартістю інформації та спричиняє оптимізацію витрат на отримання й обробку інформації;

6) принцип простоти передбачає, що інформація повинна подаватися так, щоб одержувач міг її зрозуміти;

7) принцип чіткості інформаційного потоку — інформація не повинна бути дуже складною (відсутність інформаційних перевантажень) і має відповідати принципу простоти;

8) принцип релевантності виникає через те, що необхідна інформація має допомогти її одержувачу вирішити завдання або ухвалити рішення;

9) принципи адекватності виник через необхідність відповідності змісту інформації матеріальним та іншим поточним процесам.

Назвемо також важливі фактори, що мають бути враховані при проектуванні логістичних систем:

1) інформація про логістичний ринок (його склад, масштаб, статичність; кількість покупців та їхні особливості; розміщення замовників; гнучкість попиту; законодавство; політика державного логістичного регулювання);

2) інформація про виробництво (за наявності логістики виробництва) (потреба в матеріальних ресурсах, основних засобах, комплектуючих і сировині; методика виробництва; оснащеність виробництва й ступінь завантаження потужностей; виробничий темп; тривалість і специфіка виробничого циклу);

3) інформація про матеріальні потоки (характеристика специфіки та стану матеріальних потоків; інформація про характеристики та умови транспортування вантажів);

4) інформація про інформаційні потоки (характеристика специфіки та стану інформаційних потоків; відомості про систему інформаційного забезпечення; методика обробки й збереження інформації; спосіб отримання та поширення інформації; потенціал зберігання та накопичення інформації, дані щодо достовірності та актуальності логістичних інформаційних потоків);

5) інформація про фінансові потоки та їх характеристики [4];

6) геоінформація про розташування та параметри складів, терміналів, клієнтів тощо.

Показник логістичного циклу є також важливою характеристикою логістичних систем, і на нього треба зважати при їх проектуванні. Логістичний цикл складається з: 1) часу на оформлення замовлення в певному порядку; 2) часу на доставку й передачу замовлення постачальнику; 3) часу виконання замовлення постачальником, який складається: з періоду очікування замовлення, періоду виконання замовлення. Період очікування замовлення — це робочий час, потрібний для виготовлення продукції, і час міжопераційних простоїв у ході виробництва, час приймання готової продукції. Період виконання замовлення може складатися з часу комплектації та часу упаковки, якщо замовлення виконується з наявних у виробника або торгового посередника запасів; 4) часу доставки готової продукції замовнику. Логістичний цикл

може включати час на підготовку продукції до виробництва, час на підготовку продукції до продажу.

Здатність не тільки до локалізації ЛІС, а й до паралельної роботи інформаційних систем і технологій дає можливість із системних позицій підходити до управління логістичними потоками, забезпечуючи обробку й обмін великими обсягами інформації між різними учасниками логістичного процесу.

Процес розвитку/реінжинірингу логістичних систем повинен урахувати всі зазначені вище логістичні принципи й вимоги, він передбачає скоординовану взаємодію та узгодженість всіх названих раніше передумов з урахуванням впливу зовнішніх факторів.

ЛІС властива поліструктурність, яка виявляється у взаємопроникненні різних підсистем. Крім того, ще раз наголошуємо, що в умовах динамічних кризових явищ ЛІС не тільки має використовувати адаптивні алгоритми, а й сама її структура або періодично, або в режимі ad-hock має верифікуватися та за потреби змінюватися.

Назвемо, нарешті, основні напрями робіт у рамках проектування, створення та впровадження ЛІС: визначаються технічні засоби для виконання програмного завдання; складаються вимоги до якісних характеристик і з'ясовується необхідний обсяг фінансових і трудових ресурсів; визначаються базові методи формування програмних завдань; обираються організаційні форми здійснення програмних завдань; складаються мережеві моделі виконання етапів і робіт; розробляються системи критеріїв оцінювання та мотивацій дій; організовуються контроль, облік і оцінка ходу робіт.

Крім того, у літературі [5] є такий варіант підходу до стратегічного планування процесами проектування ЛІС, що включає кілька кроків:

- визначення підрозділів підприємства, які будуть включені в інтегровану інформаційну систему (також з урахуванням перспективи);
- грубий проект функціональних областей інформаційної системи й співвідношень між ними;
- визначення важливих для роботи підприємства об'єктів (замовники, постачальники матеріалів, деталей тощо) та їх відображення в інформаційній системі (це найскладніше завдання стратегічного планування, тісно пов'язане з попереднім кроком);
- визначення можливостей використання функціональних областей системи в різних підрозділах підприємства й оцінювання очікуваного ефекту;
- установлення правил для архітектури й технічної реалізації підсистем і з'єднуючих ланок, створюваних власними силами;

– установа загальних, незалежних від функцій правил і форматів для передачі даних між функціональними областями інформаційної системи;

– установа параметрів для обчислювальної техніки (апаратне обладнання, операційна система, система управління даними, ієрархічні рівні ЕОМ, технічні методи передачі);

– розроблення проекту реалізації (пріоритети, терміни тощо).

Однак, ураховуючи поставлене завдання дослідження, жодна з наведених вище методик для проектування або реінжинірингу адаптивної ЛІС для вітчизняної логістичної компанії не є адекватною, особливо з огляду на системні кризові явища. Тому на рис. 1 подано запропоновану автором наскрізну методику антикризового реінжинірингу ЛІС ТЕК.



Рис. 1. Розроблена комплексна наскрізна методика антикризового реінжинірингу ТЕК та її ЛІС, аркуш 1

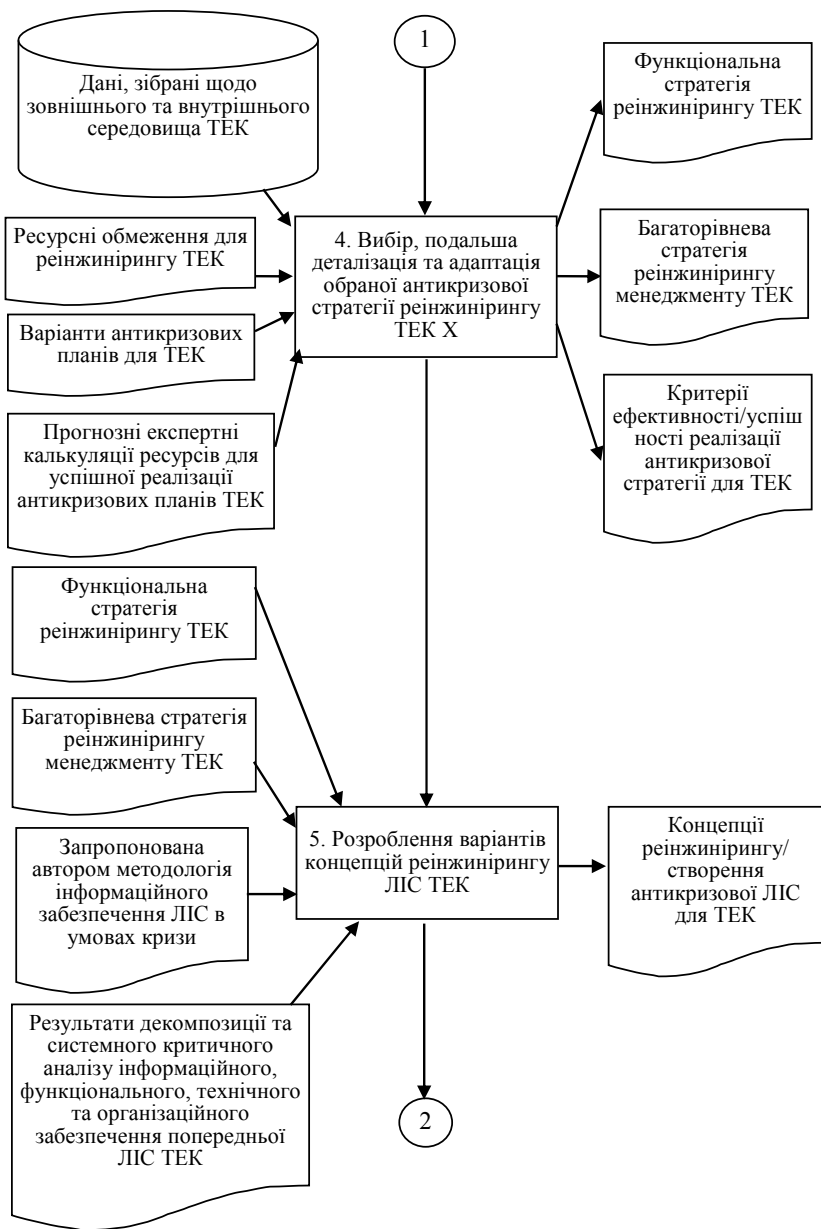


Рис. 1. Розроблена комплексна наскрізна методика антикризового реінжинірингу ТЕК та її ЛІС, аркуш 2

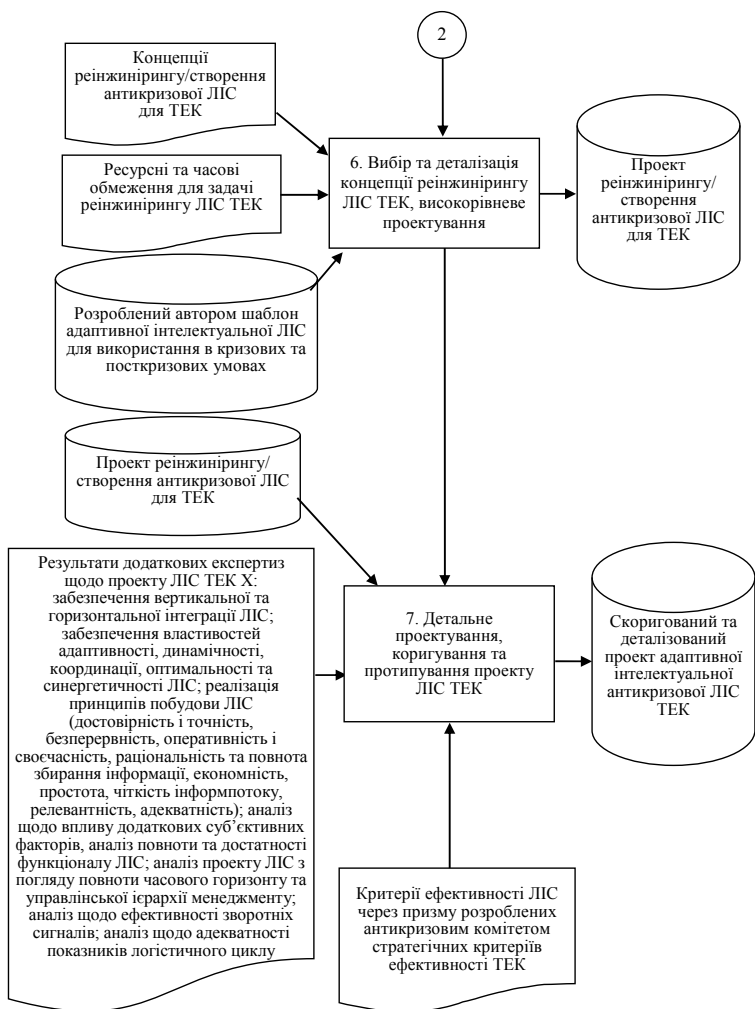


Рис. 1. Розроблена комплексна наскрізна методика антикризового реінжинірингу ТЕК та її ЛІС, аркуш 3

Потрібно зазначити, що інтелектуальна ЛІС має бути інтегрована в усі сфери діяльності підприємства (маркетинг, менеджмент, виробництво, фінанси та ін.), тобто стати частиною КІС [6, 7].

Основна концепція побудови інтелектуальної ЛІС ґрунтується на принципі чіткої взаємодії та узгодженості функціональних елементів. При такому підході в рамках логістичної системи ін-

тегруються всі корпоративні функції, ця система вирішує в глобальному плані такі основні питання: виробництво продукції, вироблення загальної концепції товароруху, вибір раціональних матеріальних потоків, визначення обсягу запасів, обсягу необхідних складських потужностей для їх зберігання, необхідність їх розширення або нового будівництва, потрібний обсяг капітальних вкладень як для збільшення виробництва продукції, так і для розширення складських площ.

Розроблена концепція та структура інтелектуальної ЛІС повинна (поряд з традиційними функціями менеджменту логістики) мати широкий функціонал для контролінгу основних логістичних операцій (вантажно-розвантажувальні роботи, приймання вантажу, маркування та штрих-кодування, реєстрація надходження та вибуття, перепакування, комплектація тощо), особливо в автоматизованому режимі *fraud detection*. Іншими словами, величезні масиви логістичних даних OLTP і в Data Warehouse, накопичені в організаціях, містять багато потенційно корисних прихованих шаблонів, які, можливо, і потрібно використовувати для поточної та стратегічної оптимізації. Але прості методи аналізу, на зразок розвідувальної візуалізації, у цьому разі не можуть допомогти. Вони дають змогу відповісти лише на питання: «що було», а необхідно отримати відповідь на питання: «що треба робити», «що буде». Для цього потрібні механізми побудови предикативних моделей, які здатні знаходити нетривіальні закономірності у великих обсягах даних, тобто використання технологій Data Mining, а на наступному етапі — і технології KDD [8].

Сучасний розвиток логістичних підприємств має бути спрямований на вдосконалення управлінського аналізу й стратегічне моделювання та планування на базі такого поглибленого інтелектуального аналізу. Інноваційні моделі ЛІС розвиваються поряд з процесами реінжинірингу бізнес-процесів та інформаційних потоків. Вітчизняні логістичні підприємства в умовах поточної системної та галузевої кризи мають перейти до повної реорганізації та оптимізації логістичних процедур, скорочуючи кількість функціональних циклів і обсяги супутньої діяльності, зокрема за рахунок упровадження ефективних інтелектуальних логістичних інформаційних систем з урахуванням принципу «наскрізного матеріального потоку», який стає об'єктом управління з якісними та кількісними показниками, що контролюються методами OLAP, SA, KDD.

Отже, на підставі проведеного вище дослідження причинно-наслідкових етапів трансформації логістичних інформаційних систем, детекції системних проблеми такої трансформації та

шляхів їх вирішення, концепції інноваційного розвитку ЛІС у рамках глобалізованих транскорпоративних інформаційних систем — запроєктована схема адаптивної ЛІС ТЕК в умовах наявних кризових макроекономічних явищ (рис. 2).

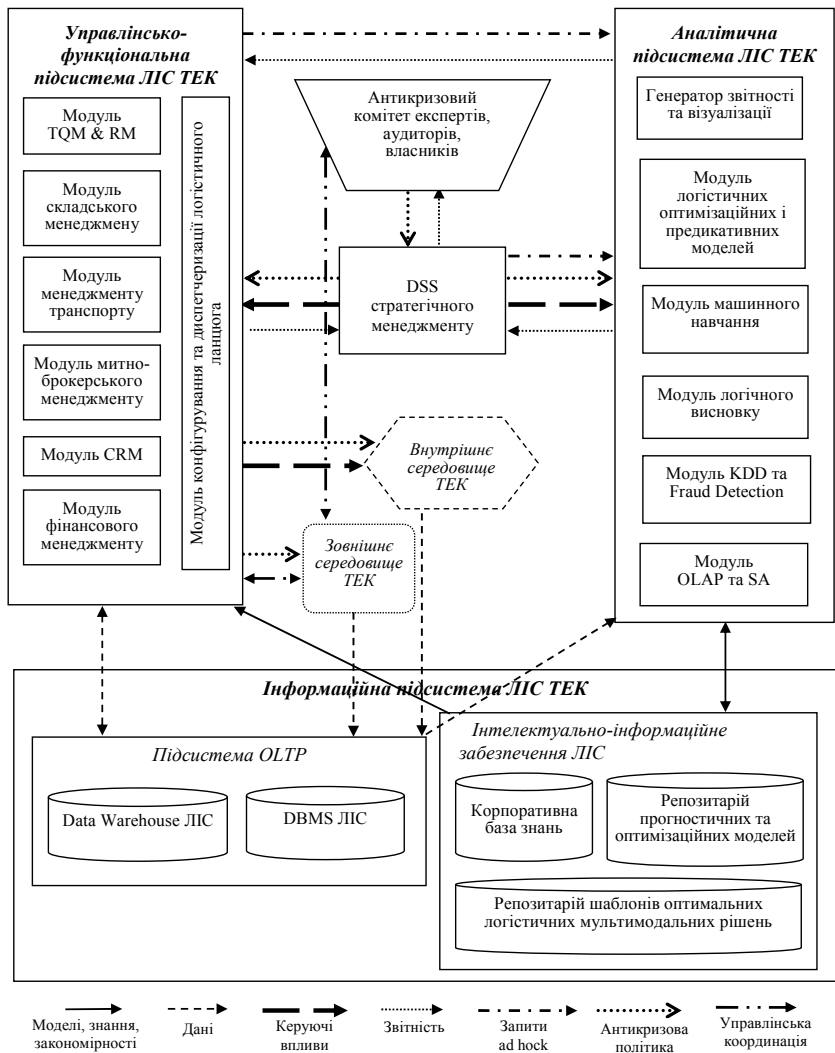


Рис. 2. Розроблена концептуальна схема адаптивної ЛІС (з відповідними інформаційними потоками) для вітчизняної ТЕК в умовах системної кризи

Література

1. The development of the concept and set of practical measures of anti-crisis logistics management in the current ukraine conditions / Maxim Krasnyuk, Oleksandr Kustarovskiy — [Електронний ресурс]. — режим доступу: <http://www.kaweczynska.pl/wydawnictwo/zarzadzanie-teoria-i-praktyka/zarzadzanie-teoria-i-praktyka-numer-biezazy?download=5464:zarzadzanie-teoria-i-praktyka-management-theory-practice-4-18-2016>
2. *Краснюк М. Т., Кустаровський О. Д.* Проблеми та перспективи розвитку українських логістично-інформаційних систем в умовах глобалізованої економіки та макроекономічних кризових явищ // Інвестиції: практика та досвід (Index Copernicus, SIS, Google Scholar). — Київ. — травень 2017. — № 10. — С. 34–39.
3. Логистика: конспект лекцій / Мишина Лариса Александровна — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://marketing.wikireading.ru/10924>
4. *Краснюк М. Т., Кустаровський О. Д.* Дослідження, адаптація методик та удосконалення моделей фінансового аналізу підприємств транспортної галузі в поточних кризових умовах України // Моделювання та інформ. системи в економіці: Зб. наук. праць / Відп. ред. В. К. Галіцин. 2017. Вип. 93. — С. 175–195.
5. Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок. Никифоров В. В., 2008. — с. 44.
6. *Безукладов С. В.* Удосконалення інформаційних технологій логістичних систем на основі принципу оптимальних структурних пропорцій / С. В. Безулков // АПЕ. — 2004 р. — № 9. — С. 13–20.
7. Інформаційні системи в менеджменті : навч. посіб. / [А. Є. Батюк, З. П. Дзуліт, К. М. Обельовська та ін.]; Під ред. А. Є. Батюка. — Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», Інтелект-Захід, 2004. — 520 с.
8. *Краснюк М. Т.* «Дейтамайнінг: проблеми та перспективи ефективного застосування в умовах економіки України» // Моделювання та інформаційні системи в економіці: Міжвідом. наук. зб. Вип. 71 / Відп. ред. В. К. Галіцин. — К.:КНЕУ, 2004. — С. 105–113.

МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ

*Устенко С. В., д.е.н., проф.,
Тішков Б. О., к.е.н., доц.,
Зінов'єва І. С., к.е.н., доц.,
Помазун О. М., к.е.н., доц.,
Бірко О. О., асис.*

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА СТВОРЕННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

1.1. Предметна характеристика, фактори та принципи створення високотехнологічних виробничих систем

Проблеми економіки України головним чином характеризуються низькою ефективністю високотехнологічних виробничих систем і як наслідок — низькою ефективністю економіки загалом. Високі енергетичні та матеріальні витрати виробництва, низька ефективність менеджменту на всіх рівнях, неадекватність діяльності багатьох економічних об'єктів зумовлюють завдання вдосконалення їх функціонування в царині керування процесом розвитку й використання виробничого потенціалу в умовах трансформаційної економіки. Це зумовлює широту сфер удосконалення чинників зростання ефективності виробництва, особливо в галузях наукомістких технологій. Одним з реальних аспектів, ініційованих процесами глобалізації, є об'єднання (інтеграція) підприємницьких структур у різних галузях економіки. Конкретні рішення у цій сфері відрізняються масштабністю організаційних заходів, високою витратністю та значними економічними

наслідками. Тому прийняттю рішень щодо інтеграції повинне передувати серйозне обґрунтування доцільності проектів інтеграції. Також останні позитивні політичні події в Україні, зокрема прагнення України до євроінтеграційних процесів, дасть змогу не тільки зберегти результати в галузі наукомістких технологій, таких як машинобудування, літакобудування, атомна енергетика, космічна галузь, комп'ютерна техніка, телекомунікації, а й надати значні інвестиційні ресурси для їх розвитку. З огляду на стан справ в Україні в цьому процесі, на її можливості й наявні ресурси, а також перспективи розвитку, стає зрозумілою актуальність проблеми інтеграції високотехнологічних виробничих систем у різних галузях економіки.

Високотехнологічна виробнича система (ВВС) — це система, що здатна освоїти й реалізувати інноваційні, технічні та технологічні знання нового покоління наукомістких технологій у процесі створення проміжних і кінцевих продуктів. ВВС має розвинуту інфраструктуру у формі об'єднання, створює складну конкурентоспроможну продукцію, наприклад літаки, космічні апарати, системи управління об'єктами тощо. Структурно ВВС складається з модулів: науковий, виробничий, науково-виробничий, ресурсний, ремонтний, сервісний, логістичний, маркетинговий та ін.

Високотехнологічна продукція — це продукція, для створення якої залучені рідкісні (унікальні) на цей період часу ресурси (інтелектуальні та матеріальні) і яка має здатність отримати технологічні чи економічні переваги порівняно з ідентичними. До основних факторів і чинників визначення рівня наукомісткості високотехнологічної продукції ВВС віднесені складові інтелектуального потенціалу (питома вага зайнятих у ВВС), питома вага високотехнологічного експорту, питома вага інноваційної продукції на ринку, питома вага інноваційної продукції на підприємстві, питома витрати на НДДКР, питома вага інвестицій на інноваційну діяльність, питома вага реформ (компетенцій), а розрахунок індексу інноваційної спроможності здійснюється за методикою Європейської комісії, трансформованої до рівня підприємства [46].

Високий рівень наукомісткості продукції та її конкурентоспроможності зумовлюється передусім пріоритетними, тобто прогресивними з погляду рівня значущості для піднесення вітчизняної економіки, напрямками розвитку науки й техніки та ефективністю їх реалізації у виробництві. Наявність таких пріоритетів є вихідним орієнтиром для концентрації національних ресурсів

на напрямках технологічного прориву, проведення за участю держави не лише фундаментальних, а й частини прикладних досліджень і розробок, щоб зробити їхні результати придатними для подальшого використання в корпоративних структурах з метою комерційної реалізації. Хоча формально таку систему в Україні вже створено, проте її конкретне наповнення не відповідає ні вимогам перспективного розвитку, ні потребам захисту світових ринків вітчизняних виробників. Недієвість системи пріоритетів набуває стратегічного значення, оскільки блокує узгодження науково-технічної, бюджетно-фінансової, грошово-кредитної, податкової, виробничої та зовнішньоторговельної політики. При цьому, за розрахунками науковців [1], майже 70 % коштів на науково-технічні розробки припадає в Україні на IV технологічний уклад і тільки 23 % — на V; 60 % інноваційних витрат — на IV технологічний уклад, 30 % — на III, 8,6 % — на V. За випуском продукції [2] III технологічний уклад в Україні становить 58 % виробництва, IV технологічний уклад — 38 % і лише 4 % — V технологічний уклад. Інвестиції переважно (до 75 %) вкладаються у III технологічний уклад і, відповідно, лише 20 % і 4,5 % — у IV і V технологічні уклади. Домінуючими серед галузей промисловості щодо інноваційної діяльності є хімічна та нафтохімічна промисловість — 24 % і машинобудування — 23,9 %, але ці галузі, що мають бути лідерами інновацій, за період з 2000 року значно втратили свої позиції. Слід зазначити, що в загальному обсязі реалізованої інноваційної продукції машинобудування найбільшу питому вагу становить високотехнологічне виробництво — машин та устаткування, електричного та електронного устаткування. В інших видах промислового виробництва рівень інноваційності майже вдвічі менший, ніж у машинобудуванні та хімічній промисловості [4]. Таким чином, негативні процеси в галузевій структурі України перетворюються на деградацію технологічної структури діючих підприємств. А частка бюджетних витрат на науку у відсотках ВВП не тільки не зросла за останні п'ять років, а продовжувала знижуватися і зараз становить близько 1 % ВВП. Для розвинутих країн вона становить 2,5–3 % ВВП. Фактичні статистичні дані міністерств і відомств України свідчать про те, що використання в економіці науково-технічних та організаційних заходів, спрямованих на реалізацію пріоритетних напрямів, забезпечує високу соціально-економічну ефективність, тобто значний рівень окупності витрат на кожний проект відповідного призначення, що становить 3–3,5 роки. Така ефективність значно перевищує банківський коефіцієнт рефінансування

інвестицій у виробництво. Але, незважаючи на такі позитивні можливості зростання економіки на основі її науково-технічного розвитку, масштабність впровадження ефективних розробок у виробництво є ще доволі низькою, про що свідчить співвідношення між обсягом витрат на науково-технічну діяльність у країні та впровадження її результатів, трансформованих в інновації, у виробництво, яке становить 1:1,06. Водночас, згідно із зарубіжними даними, таке співвідношення може бути не менш як 1:10. Останніми роками в Україні фактично не було впроваджено жодної вітчизняної інновації загальнодержавного масштабу та галузевих технологій, а також тих інновацій, які формують ядро передового VI технологічного укладу. Лише незначна кількість інноваційної продукції в аерокосмічній і літакобудівній галузях, а також у біотехнологіях і нині у військово-промисловому комплексі вирізняється принциповою новизною.

Основний внесок у поточний рівень інноваційної спроможності України робить якісний інтелектуальний потенціал. Так, питома вага населення з вищою освітою в Україні є однією з найвищих у світі і в 1,7 разу перевищує середній показник по ЄС, частка зайнятих у високотехнологічних галузях сфери послуг (НДДКР, інформаційно-комунікаційні) в Україні на 28 % вища, ніж у середньому по ЄС, а за показником кількості дослідників з розрахунку на 1000 зайнятих Україна лише на 13 % поступається середньому по ЄС значенню.

У країнах з розвинутою ринковою економікою значна частина потенціалу галузевої науки, пов'язаної з комерціалізацією результатів наукових досліджень, працює в межах великих корпоративних структур та об'єднань. Такі структури є замовниками чималої кількості наукових досліджень і розробок, вони формують ринок для наукового та конструкторського потенціалу, забезпечуючи основну частку інвестиційної складової інноваційних проектів. В Україні переважна частина галузевої науки опинилася за межами корпоративних структур і, відповідно, поза відтворювальних механізмів фінансування. Бюджетне фінансування постійно зменшується. Тому підприємства України вступають в якісно іншу стадію функціонування та економічного розвитку, що змушує їх адаптуватися до зовнішніх умов конкурентної боротьби, яка загострюється на зовнішніх і внутрішніх ринках. Однією з форм економічного розвитку підприємств за цих умов є інтегрування їх у різні корпоративні структури: фінансово-промислові групи, технопарки, асоціації, концерни, холдинги, корпорації, метакорпорації, горизонтальні та горизон-

нтально-вертикальні об'єднання, компанії та ін., які здатні розробляти нові зразки високотехнологічної продукції та виготовляти конкурентоспроможну продукцію. Реалізація структурних моделей інтеграції ВВС здійснюється на основі таких принципів: організація комерційної діяльності з метою отримання прибутку, формування «м'яких» або «жорстких» форм об'єднань на основі діючого законодавства, організація стратегічного центру управління та маркетингу.

До базових технологічних пріоритетів розвитку ВВС і видів високотехнологічної продукції належать: машинобудування та приладобудування як основа високотехнологічного оновлення всіх галузей виробництва (виробництво сучасної ракетно-космічної та авіаційної техніки, системи, засоби та обладнання нового покоління), військово-промисловий комплекс, модернізація електростанцій, нові та відновлювані джерела енергії, новітні ресурсо- та енергозберігаючі технології, біотехнології, нанотехнології, нові види матеріалів і продуктів, мікроелектроніка, інформаційні технології, телекомунікації, хімічні технології, високотехнологічний розвиток сільського господарства й переробної промисловості, діагностичні та лікувальні програмно-технічні комплекси. До цього переліку в промисловому комплексі України можна віднести й низку ВВС і технологій, які використовуються в судно- і танкобудуванні, виробництві обладнання для АПК і легкої промисловості, транспортному машинобудуванні, верстатобудуванні, інструментальній та електротехнічній промисловості. Високим рівнем наукомісткості характеризуються порошкова металургія, виробництво твердих матеріалів, електрозварювальна галузь.

На основі аналізу існуючих моделей розвитку економічних систем запропоновано концептуальну модель як результат дії (стан) W від потенціалу розвитку $\Pi(t)$ [45, 46]:

$$W = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} \Pi(t) dt, \quad (1)$$

де $\Pi(t) = F(EP(t), PPP(t), ZP(t), EKP(t), PZC(t))$, F — функціонал системи потенціалів ($EP(t)$, $PPP(t)$, $ZP(t)$, $EKP(t)$, $PZC(t)$), $EP(t) = (ВП(t), НВП(t), СЕП(t))$ — економічний потенціал, $ВП(t)$ — виробничий потенціал, $НВП(t)$ — науково-виробничий потенціал, $СЕП(t)$ — соціально-економічний потенціал, $PPP(t)$ — політичний потенціал, $ZP(t)$ — законодавчий потенціал, $EKP(t)$ — екологічний потенціал, $PZC(t)$ — потенціал зовнішнього середовища.

Тоді:

$$W(t) = P(t) \quad (2)$$

визначає миттєвий стан ВВС у момент часу t , а $P(t) = F(\bar{U}_1(t), \bar{U}_2(t))$, де $\bar{U}_1(t) = (EP(t), ПП(t), ЗП(t), ЕКП(t), ПЗС(t))$ — вектор елементів системи потенціалів, $\bar{U}_2(t) = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ — вектор елементів компетенцій, який змінюється за складом і змістом у часі, $\bar{U}_2: R^1 \rightarrow \{0,1\}$, u_i — i -а компетенція.

Інтеграція виробничих підприємств здійснюється з метою підвищення ефективності діяльності цих організацій і вдосконалення управління цією діяльністю. Означена проблема актуальна й має практичне значення, тому вона висвітлена в багатьох публікацій з цієї проблеми [4–6]. Поточний стан W від потенціалу розвитку ВВС на деякому інтервалі часу може зменшуватися й досягати критичного значення $W_{кр}$, нижче якого ВВС існувати не може. Перехід ВВС з критичного стану до майбутнього стійкого $W_{ст}$ передбачає впровадження різних заходів (компетенцій) для досягнення очікуваного потенціалу розвитку. Швидкість зростання потенціалу залежатиме від впровадження та застосування компетенцій і управління системою потенціалів (виробничий, науково-виробничий, соціально-економічний, політичний, законодавчий, екологічний, зовнішнього середовища). Після зростання потенціалу ВВС переходить у насичений стан. Такий період означає досягнення стратегічних цілей, а ВВС працює стійко.

Для досягнення бажаних стратегічних цілей потрібно постійно оцінювати й аналізувати стан потенціалу розвитку ВВС. Такий підхід дає змогу конкретизувати напрям розроблення стратегій ВВС для забезпечення стійкого стану $W_{ст}$ ВВС у майбутньому.

Назвемо основні компетенції забезпечення потенціалу розвитку ВВС:

1. Вироблення концепції державної політики розвитку ВВС.
2. Визначення пріоритетних напрямів і програм розвитку ВВС у галузях високих технологій.
3. Проведення економічних реформ у галузях високих технологій (упровадження індивідуальних програм реструктуризації окремих підприємств і ВВС загалом, проектування та використання процесної структури менеджменту та виробництва й застосування методу реінжинірингу бізнес-процесів, заходи щодо підвищення стабільності роботи ВВС і управління ризиками та ін.).
4. Упровадження ринкової концепції соціально-економічного розвитку держави.

5. Макроекономічний аналіз ВВС у державі та за її межами.
6. Упровадження ринкової законодавчої бази для розвитку ВВС.
7. Екологічний моніторинг ВВС і зовнішнього середовища.
8. Упровадження інтеграційних процесів (на зовнішньому й внутрішньому рівнях).

Стан і динаміка потенціалу розвитку ВВС залежатиме як від внутрішніх, так і зовнішніх характеристик усіх складових системи потенціалів. Узагалі політичний, екологічний, законодавчий потенціали і потенціал зовнішнього середовища можна віднести до зовнішніх потенціалів (і їх характеристики), які впливають на характеристики виробничого, науково-виробничого й соціально-економічного (внутрішніх) потенціалів. Щоб забезпечити розвиток ВВС, слід усвідомлювати процеси взаємодій (компетенцій) різних потенціалів, особливо виробничого з науково-виробничим, екологічним потенціалом і зовнішньоекономічними відносинами, урахувувати вплив і можливості процесів глобалізації й інтеграції, саме вони створюють умови для транскордонних потоків капіталу, технологій та інвестицій.

Інтеграційні процеси у літакобудівній і космічній галузях, військово-промислового комплексу як пріоритетних в Україні, дають змогу вирішити низку загальних проблем у галузях високих технологій промисловості держави й особливо завдань конкурентоспроможності продукції в умовах інноваційної економіки. Однак приклади створення об'єднань у світовій промисловості свідчать про необхідність винятково зваженого підходу до інтеграційних заходів, оскільки не більш як 20 % інтегрованих компаній досягають фінансових чи стратегічних цілей самої інтеграції.

При вирішенні завдань інтеграції необхідно враховувати фактори та принципи створення ВВС. Назвемо їх.

1. Організаційно-методологічні питання:

- визначити фактори, що стимулюють інтеграцію та оцінити їх кількісний характер;
- визначити фактори негативного прояву на результати інтеграції;
- зробити порівняльний аналіз спільного впливу стимулюючих і негативних факторів і зробити висновок про передбачувані дії;
- здійснити аналіз принципів та організаційно-правових форм об'єднання підприємств і обрати раціональне рішення для конкретного об'єднання;
- провести експертний аналіз фінансово-економічного стану підприємств (аудит), що входять в об'єднання на рівні мікро- і макроекономічних показників;

- проаналізувати структуру менеджменту підприємств;
- оцінити виробничий потенціал підприємств;
- сформулювати концепцію інтеграції підприємств;
- розробити модель управління об'єднання;
- розробити бізнес-план спільних дій;
- розробити статутні документи інтеграційної структури на основі існуючого законодавства України в цій царині.

Проблеми інтеграції підприємницьких структур розглянуто в роботах [7, 8], де визначено характерні фактори, що стимулюють об'єднання бізнес-структур, які доповнені також результатами аналізу підприємств України, що створюють зразки високотехнологічної продукції:

- розроблення проектів зразків нової техніки;
- створення сертифікаційних зразків нової техніки;
- авторський супровід серійного виробництва та експлуатації нової техніки;
- науково-дослідні й дослідно-конструкторські та виробничі розробки при створенні наземних видів транспортних засобів;
- виробництво серійних виробів нової техніки та її систем;
- надання транспортних послуг і послуг обслуговування техніки;
- випуск непродовольчих товарів народного споживання;
- постійний моніторинг новацій в галузі створення нової техніки.

Укрупнення підприємств здійснюється за наявності економічної вигоди для всіх учасників інтеграції та основних напрямків, що сприяють ефективності реалізації перелічених груп факторів.

В якості таких напрямів можна назвати на основі аналізу діяльності і можливостей підприємств промисловості України:

- ефект синергізму;
- прагнення використовувати ліцензії, патенти, ноу-хау, які є в розпорядженні інших підприємств інтеграції;
- отримання надійних постачальників факторів (ресурсів) виробництва;
- зменшення рівня ризику при розширенні ринку й виходу на нові ринки;
- зменшення негативного впливу конкуренції;
- податкові переваги;
- об'єднання капіталу, активів, технологічних і управлінських знань і навичок (технологічні трансферти);
- диверсифікація активів для забезпечення зменшення ризику;
- попередження захоплення компанії іншими крупними корпоративними «хижаками»;
- особисті престижні мотиви вищої ланки менеджерів.

Особливу увагу слід приділити використанню ефекту синергізму, оскільки ця проблема слабо розроблена й не підкріплена модельними результатами. Додаткові економічні переваги утворюються за рахунок ефективного використання загального фінансового потенціалу, взаємного доповнення технологій і номенклатури випущеної продукції, зниження витрат, розширення реалізації продукції шляхом використання загальної збутової мережі. У маркетингу потенціал синергізму визначається можливостями використання загальної торговельної марки, спільним проведенням рекламної компанії, одночасним використанням різних рекламних засобів і методів. Однією з переваг синергізму є ділова участь підприємств у дослідно-конструкторських розробках та інших наукових дослідженнях. У теоретичному сенсі ефект синергізму з урахуванням указаних вище основних груп ефектів дає можливість підвищити прибутковість інтегрованого підприємства у 2,59 разу [8].

2. Застосування типових процедур і правил з питань управління, функціонування та розвитку ВВС [9]. В основі структури ВВС можуть розглядатись типові багатомодульні схеми діяльності ВВС у різних прикладних сферах, де основними структурними модулями системи є:

- ресурсний модуль;
- науково-дослідні установи;
- виробничі підприємства;
- маркетинговий модуль;
- модуль безпеки: юридична, фінансова, інформаційна;
- логістичний модуль;
- модуль ремонтного забезпечення;
- модуль сервісу;
- модуль монтажу;
- модуль налагодження;
- модуль технічної підтримки;
- модуль збуту та дистрибуції.

У процесі ринкових перетворень ці модулі можна об'єднати в складніші ієрархічні функціональні одиниці для випуску різних видів високотехнологічної продукції.

У реальних умовах можливе створення та функціонування різноманітних багатоваріантних структурних моделей ВВС. Залежно від кінцевої мети та цілей створення ВВС, вони можуть включати ті чи інші представлені вище модулі або об'єднувати їх за власними потребами в загальніші структурні елементи.

Типова структурна схема функціонування ВВС складається з таких модулів: ресурсні (Р), науково-дослідні (Нд), виробничі

(промислові) (В/П), бізнес-модулі (сервіс, монтаж, налагодження, технічна підтримка, збут) і центру управління (ЦУ). Якщо Нд — структурна одиниця ППС, що забезпечує наукову та інноваційну підтримку діяльності ВВС, В/П — функціональні модулі ВВС, основне призначення яких полягає у виробництві інноваційної та конкурентоспроможної продукції певного асортименту, якості та кількості, то бізнес-модулі виконує проміжну функцію. Вони можуть бути представлені у вигляді окремого відділу (управління, департаменту) ВВС, наприклад департамент безпеки, або у вигляді окремого ринкового модуля — організації, що самостійно функціонує на ринку та входить до ВВС з метою реалізації окремих виробничих функцій, що доповнюватимуть діяльність Нд і В/П модулів, наприклад: сервісна підтримка продукції, її ремонтне обслуговування, виконання логістичних операцій, контроль екологічності та безпеки процесів виробництва, фінансова та ресурсна підтримка, розроблення маркетингової та продуктової стратегій тощо.

ЦУ — структурна одиниця ВВС, що управляє діяльністю Нд, В/П і бізнес-модулів через централізоване керування ресурсами, розробку та реалізацію загальної стратегії розвитку, керування стратегічними партнерськими зв'язками, організацію збуту продукції ВВС, підтримку основних функцій управління маркетинговою діяльністю та організацію корпоративної безпеки на всіх рівнях. ЦУ в структурі ВВС виконує такі функції:

- регулювання — забезпечення розподілу та перерозподілу ресурсів усередині ВВС. За допомогою цієї функції реалізується можливість раціонального направлення ресурсів ВВС для здійснення основної, допоміжної та супроводжуючої діяльності;

- координація — управління діяльністю структурних підрозділів (Нд, В/П і бізнес-модулів) ВВС у межах загальної стратегії розвитку та відповідно до наявних ресурсів та технологічних можливостей. Дана функція покликана забезпечити ефективне функціонування ВВС з урахуванням особливостей взаємозв'язків структурних підрозділів, уточнення їх обов'язків і компетенцій. Це дасть змогу, своєю чергою, своєчасно виявляти та попереджувати різні відхилення від заданих цільових функцій, критеріїв розвитку тощо;

- планування — конкретизація цілей і розроблення загальної стратегії розвитку ВВС, визначення спільних завдань функціонування ВВС, термін і послідовності їх реалізації, аналіз і прогноз основних показників ефективності функціонування. Виконання цієї функції ЦУ неможливо без взаємозв'язків з тими структурними підрозділами, що займаються безпекою, науковою та маркетинговою діяльністю. Таким чином, ЦУ здійснює управління

та централізований контроль виконання цілей і планів розвитку ВВС, забезпечує перерозподіл ресурсів усередині самої ВВС, а також сприяє утворенню синергетичного ефекту ВВС.

Зважаючи також на те, що ВВС має складну інфраструктуру й організаційно оформлюється зазвичай як об'єднання підприємств для досягнення кінцевої мети — створення агрегованого виду продукції, то в загальному вигляді вважатимемо, що ВВС складається з окремих функціональних модулів. Серед них можна визначити **науковий, виробничий, ресурсний, ремонтний, сервісний, маркетинговий** та ін. за базовий модуль у системі приймемо науковий, адже він спрямований на проектування й розроблення нової конкурентоспроможної продукції. В організаційно-технологічній структурі ВВС деякі модулі можуть відображати функції сектора, наприклад ресурсний модуль є фактично матеріальним сектором, а маркетинговий — споживчим. Водночас до структури виробничого модулю може входити як одне окреме підприємство, так і їх мережа. До наукового модулю можуть включатися науково-виробничі підприємства, науково-технічні комплекси, НДДКБ, академічні інститути тощо. Результатом діяльності наукового модуля є експериментальний виріб, який пройшов сертифікаційні випробування, і техніко-експлуатаційна документація на серійне виготовлення нової продукції. Наприклад, АНТК ім. О. К. Антонова як окремий науково-виробничий модуль займається проектуванням і одночасно розробкою одиночних виробів — нових типів літаків.

Високотехнологічне виробництво, що значною мірою враховує спеціалізацію виробництва, є більш продуктивним, оскільки в цьому разі використовують пристосовані до певного виробництва знаряддя праці і сучасні технології, а працівники, маючи справу з обмеженим набором операцій, виконують їх швидше за рахунок сучасних засобів автоматизації. Крім того, у такому виробництві вводяться нові технологічні процедури — замкнені виробничо-технологічні цикли «Розробка — Виробництво — Маркетинг — Обслуговування» (ЗЛВС — замкнутий ланцюг виробничої системи). Уважатимемо, що в «розробку» входить і процес «проектування», а «виробництво» означає серійний випуск нової продукції. ЗЛВС дає можливість концентрувати основні ресурси й спрямовувати їх на кінцевий результат і на його просування на ринку з урахуванням функцій обслуговування, сервісу й ремонту.

До базових процесів функціонування високотехнологічного виробництва продукції належать:

- 1) проектування;
- 2) ресурсне забезпечення;

- 3) розроблення дослідної продукції;
- 4) стандартизація;
- 5) випробування та сертифікація;
- 6) техніко-експлуатаційне забезпечення;
- 7) виробництво серійної продукції;
- 8) маркетингове супроводження;
- 9) ремонтно-сервісне обслуговування;
- 10) удосконалення високотехнологічної продукції.

Цей перелік процесів функціонування є базовим набором ЗЛВС. Виробничо-технологічну структуру ВВС можна розподілити на кілька схем: тримодульна, чотиримодульна та п'ятимодульна ВВС.

На рис. 1 (а, б, в) подано варіанти структур багатомодульних ВВС на основі реалізації базового набору процесів функціонування ВВС, де НВ — науково-виробничий модуль, В — виробничий модуль, РС — ремонтно-сервісний модуль, Р — ресурсний модуль, М — маркетинговий модуль.

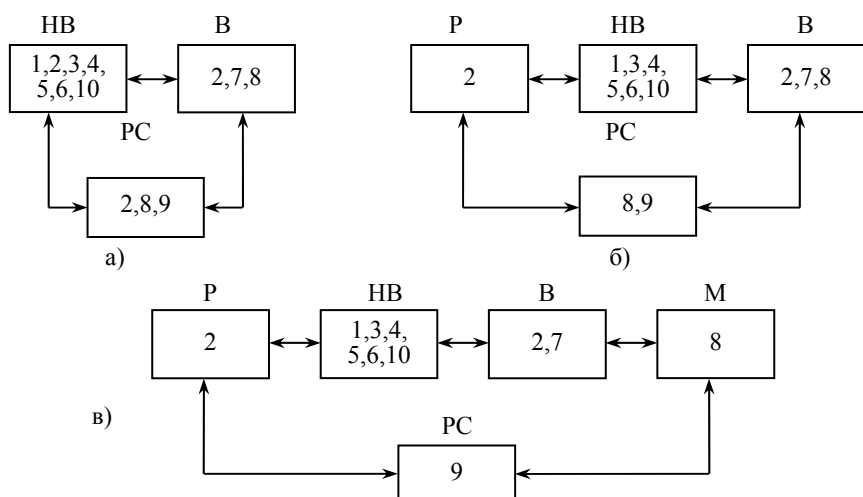


Рис. 1. Принципи побудови багатомодульних ВВС

3. Здійснення організаційно-методологічних компетенцій:

- упровадження індивідуальних програм реструктуризації окремих підприємств і ВВС загалом;
- адаптація структури менеджменту й ВВС до ринкових умов господарювання;
- оптимізація системи стратегічного планування й управління ВВС;

– проектування та використання процесної структури менеджменту та виробництва й застосування методу реінжинірингу бізнес-процесів;

– забезпечення моніторингу та контролінгу технологічного переоснащення галузей і ВВС;

– заходи щодо підвищення стабільності роботи ВВС та управління ризиками;

– заходи щодо розвитку й впровадження лізингових і компенсаційних схем;

– державна підтримка експортного кредитування (підтримка експорту);

– державні інвестиції у НДДКР та ін.

4. Формування ринкових (маркетингових) компетенцій:

– упровадження продуктової програми (стратегії) ВВС;

– інфраструктурні впливи (сегментація ринку, розроблення нової продукції, ціноутворення, збут і просування товару (рекламна діяльність));

– кон'юнктурні дослідження (оцінювання ризиків, місткість ринку, товарні пропозиції, еластичність попиту, прогнозування попиту);

– диверсифікація виробничих процесів, які орієнтовані на розроблення товарів широкого попиту;

– маркетингові дослідження;

– післяпродажний супровід продукції та ін.

5. Урахування зовнішніх компетенцій:

– створення законодавчо-правових умов для переходу ВВС на інноваційні моделі розвитку та інтеграції;

– законодавча та правова база маркетингових досліджень;

– упровадження законодавства про державну підтримку ВВС та об'єднань (включаючи поглиблення міжнародних форм інтеграції (спільні підприємства));

– політичні чинники;

– еколого-природні фактори та ін.

Тоді виробнича модель ВВС з урахуванням компетенцій для мультиплікативної виробничої функції набуде вигляду:

$$y = f(\vec{x}, \vec{a}_U) = f(\vec{x}, \vec{a} + \alpha \vec{U}_1 + \gamma \vec{U}_2 + \theta \vec{U}_3) = A_0(a_0, \vec{U}_1, \vec{U}_2, \vec{U}_3) \quad (3)$$
$$(x_1^{a_1 + \alpha_1 \vec{U}_1 + \gamma_1 \vec{U}_2 + \theta_1 \vec{U}_3} x_2^{a_2 + \alpha_2 \vec{U}_1 + \gamma_2 \vec{U}_2 + \theta_2 \vec{U}_3} \dots x_n^{a_n + \alpha_n \vec{U}_1 + \gamma_n \vec{U}_2 + \theta_n \vec{U}_3})$$

де $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $\vec{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ — відповідно ресурси та їх параметри без урахування значень компетенцій; $\vec{U}_1 = (u_1^1, u_1^2, \dots, u_m^1)$, $\vec{U}_2 = (u_1^2, u_2^2, \dots, u_k^2)$, $\vec{U}_3 = (u_1^3, u_2^3, \dots, u_l^3)$ — вектори булевих значень

відповідно організаційно-методологічних, маркетингових і зовнішніх компетенцій; $\vec{\alpha}_i = (\alpha_1^i, \alpha_2^i, \dots, \alpha_m^i)$, $\vec{\gamma}_i = (\gamma_1^i, \gamma_2^i, \dots, \gamma_k^i)$, $\vec{\theta}_i = (\theta_1^i, \theta_2^i, \dots, \theta_l^i)$ — вектори відповідних матриць зміни еластичнос-

$$\text{ті } \alpha = \begin{pmatrix} \alpha_1^1 & \alpha_1^2 & \dots & \alpha_1^m \\ \alpha_2^1 & \alpha_2^2 & \dots & \alpha_2^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_n^1 & \alpha_n^2 & \dots & \alpha_n^m \end{pmatrix}, \quad \gamma = \begin{pmatrix} \gamma_1^1 & \gamma_1^2 & \dots & \gamma_1^k \\ \gamma_2^1 & \gamma_2^2 & \dots & \gamma_2^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_n^1 & \gamma_n^2 & \dots & \gamma_n^k \end{pmatrix}, \quad \theta = \begin{pmatrix} \theta_1^1 & \theta_1^2 & \dots & \theta_1^l \\ \theta_2^1 & \theta_2^2 & \dots & \theta_2^l \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_n^1 & \theta_n^2 & \dots & \theta_n^l \end{pmatrix}$$

при обліку компетенцій (вагові коефіцієнти); $i = 1, 2, \dots, n$; m, k, l —

розмірності векторів вагових коефіцієнтів $\vec{\alpha}_i$, $\vec{\gamma}_i$, $\vec{\theta}_i$;

$\vec{\alpha}_i \vec{U}_1 = (\alpha_1^i u_1^1 + \alpha_2^i u_2^1 + \dots + \alpha_m^i u_m^1)$, $\vec{\gamma}_i \vec{U}_2 = (\gamma_1^i u_1^2 + \gamma_2^i u_2^2 + \dots + \gamma_m^i u_m^2)$,

$\vec{\theta}_i \vec{U}_3 = (\theta_1^i u_1^3 + \theta_2^i u_2^3 + \dots + \theta_m^i u_m^3)$ — скалярний добуток векторів;

$A_0(a_0, \vec{U}_1, \vec{U}_2, \vec{U}_3) = a_0 + \alpha \vec{U}_1 + \gamma \vec{U}_2 + \theta \vec{U}_3$ — початковий коефіцієнт.

Упровадження інтеграційних процесів у ВВС надає переваги порівняно з функціонуванням окремих підприємств. Назвемо їх:

1. Упровадження єдиних засад економічної діяльності, спрямованої на досягнення світового рівня технології виробництва та якості високотехнологічної продукції, відновлення та модернізація основних виробничих засобів, матеріально-технічного забезпечення.

2. Здійснення заходів, спрямованих на підвищення інноваційно-інвестиційної привабливості та конкурентоспроможності нової продукції.

3. Упровадження замкнутого виробничо-технологічного циклу «Розробка — Виробництво — Маркетинг — Обслуговування».

4. Координація дій під спільними брендами, проектами, бізнес-процесами.

5. Стратегічний менеджмент і маркетинг.

6. Організація нових форм і методів просування продукції на зовнішньому та внутрішньому ринках.

7. Реалізація заходів і розроблення узагальнених моделей інвестиційного розвитку ВВС.

8. Застосування нових підходів і методів керування виробничими процесами ВВС.

2. Концепція розвитку високотехнологічних виробничих систем

Ефективність ВВС визначається максимальним прибутком і стратегічним прогнозом її розвитку. Джерелом прибутку є вироблена на підприємствах високотехнологічна продукція, обсяг

випуску й реалізація якої визначається обсягом ресурсів, технологій, які використовуються, організацією роботи ВВС, зокрема якістю її менеджменту та якістю роботи інших підсистем, що забезпечують управління ризиком, контроль стійкого функціонування, контроль якості продукції, управління фінансовими ресурсами з урахуванням динаміки інвестицій, підсистем супроводу й відтворення основних засобів, технологій, кваліфікації персоналу і т. д.; реалізацію амортизаційної політики, а також вибору показників і розробкою моделей оцінювання ефективності діяльності підприємств виробничої системи.

Сутність концепції полягає в комплексному підході до аналізу, прогнозу та методів керування процесів діяльності ВВС з урахуванням її особливостей та системоутворюючих чинників у замкненому виробничо-технологічному циклі розробки високотехнологічної продукції, формуванні та розробленні виробничих моделей, які застосовано для моделювання процесів.

До системоутворюючих чинників належить процес перетворення ресурсного потенціалу ВВС у кінцевий агрегований продукт. На модельному рівні цей процес ідентифікований так званими агрегованими виробничими функціями.

Основний зміст концепції полягає у визначенні методологічних засад щодо економічного обґрунтування інтеграційних процесів як складових замкнутого технологічного циклу виробництва нової продукції шляхом моделювання та оцінювання ефективності діяльності ВВС.

Реалізація зазначеної концепції створює можливості підвищення рівня конкурентоспроможності ВВС у різних прикладних сферах виробництва за рахунок:

- визначення методологічних засад процесів інтеграції виробних підприємств, що засновані на принципах цілісності, підпорядкованості, нелінійності розвитку, сталості внутрішніх та інфраструктурних зв'язків, синергії;
- комплексного підходу до дослідження процесів створення та розвитку ВВС з урахуванням загальної мети їх структурних особливостей, стратегічних цілей і потенціальних можливостей створення повних виробничих циклів виробництва заданих видів продукції;
- розроблення системи економіко-математичних моделей, які можуть бути застосовані при моделюванні інтеграційних процесів виробничих підприємств в умовах інноваційного розвитку.

Особливістю цієї концепції є врахування виробничих, наукових і допоміжних модулів та їх зв'язків для виробництва інноваційної продукції.

Головний акцент у зазначеній концепції зроблено на прогнозуванні результатів діяльності та розвитку ВВС. Інтегрована система як об'єкт моделювання включає в себе економічні відносини між виробничими та іншими економічними об'єктами цієї системи, що виявляються в розподілі ресурсів (фінансових, матеріальних тощо) та їх регулюванні в процесі виробництва інноваційної продукції.

Концептуальну модель дослідження процесів інтеграції виробничих підприємств подано на рис. 2.



Рис. 2. Концептуальна модель дослідження процесів інтеграції виробничих підприємств

Концепція (модель) дослідження процесів інтеграції виробничих підприємств здійснюється шляхом вирішення специфічних наукових задач і прикладних проблем у відповідних блоках моделі.

Блок 1 «Методологія дослідження процесів інтеграції виробничих підприємств». Початковим етапом дослідження є визначення інструментарію вивчення процесів інтеграції. Здійснюється комплексне дослідження процесів інтеграції виробничих підприємств за допомогою інструментарію системного аналізу. Відбувається аналіз загальних тенденцій розвитку інтеграційних процесів у прикладних сферах виготовлення високо-технологічної продукції, виявляються структурні особливості, загальні мотиви та накопичується позитивний досвід реалізації таких процесів.

Блок 2 «Ідентифікація стратегії розвитку ВВС». Визначається тип стратегії розвитку виробничих підприємств системи, що включає в себе інноваційну, організаційну, ресурсну, інвестиційну та інші стратегії розвитку.

Відповідно до цілей виробничих підприємств формується структура й визначається необхідний і достатній склад її структурних модулів, кожний з яких впливає на структуру ВВС, її загальну виробничу програму та техніко-економічні показники.

Блок 3 «Оцінювання стану потенційних об'єктів щодо включення в процес інтеграції». Основні положення та методологія оцінювання кандидатів, що рекомендуються для використання в Україні, викладено в МСФЗ №3 «Об'єднання бізнесу». Зокрема, тут визначено, що на цьому етапі доцільно використовувати «метод покупки», який дає змогу комплексно оцінити ринкову вартість підприємства-кандидата. Крім того, можливо застосовувати методи техніко-економічного аналізу у сфері оцінювання потенціалу, а також економетричні моделі для визначення прогностичних показників діяльності й визначення факторів впливу на результативні показники.

Використовуються підхід до обґрунтування доцільності інтеграції виробничих підприємств: оцінювання доцільності інтеграції з урахуванням можливого синергетичного ефекту, визначення критеріїв доцільності інтеграційних процесів на основі визначення їх ефективності за допомогою показників рентабельності.

У результаті аналізу процесів утворення складних виробничих систем можна визначити такі групи критеріїв інтеграції:

– соціально-економічні (збільшення прибутковості; підвищення рівня рентабельності за рахунок використання синергетичного ефекту; досягнення ринкової стабільності; ефективне ресурсне забезпечення; досягнення достатнього рівня науково-технічного потенціалу; реалізація замкнутого технологічного циклу виробництва; забезпечення необхідних темпів зростання: частки ринку, обсягів виробництва, завантаженості виробничих потужностей, чисельності зайнятих; рівня мотивації та продуктивності праці тощо);

– організаційні (оптимальність складу учасників в інтеграційному процесі, оптимальність структурної моделі, необхідний рівень корпоративної культури, досягнення внутрішньої керованості та ефективного контролю, забезпечення прозорості взаємовідносин учасників інтеграційних процесів тощо);

– функціональні (пріоритетність для розвитку ВВС та економіки України загалом, узгодженість інтересів ВВС і держави; узгодженість інтересів між потенційними учасниками, що входять до складу ВВС; тотожність стратегій розвитку між потенційними учасниками тощо).

Блок 4 «Структурне моделювання інтеграційних процесів». Прораховуються варіанти інтеграції підприємств серед можливих учасників.

Необхідність управління складними ВВС вимагає чіткої організації системи управління, підвищення ефективності функціонування та рівня організаційно-економічної стійкості ВВС. Доцільним є виокремлення центрів управління, з дотриманням принципів децентралізації управління.

Типова структура ВВС має складатись з науково-дослідного, виробничих модулів та інших ринкових бізнес-модулів, які можуть виконувати функції ресурсного забезпечення, технічного, технологічного та логістичного супроводу). В основу такого структурного рішення покладено принцип поєднання науково-дослідного та виробничого потенціалів системи.

Блок 5 «Моделювання діяльності ВВС». Розроблення системи моделей, що дають змогу оцінити доцільність, ефективність і перспективність розвитку таких систем. Віднесені моделі, що засновані на підході агрегування виробничих функцій, прогнозуванні техніко-економічних результатів діяльності ВВС, побудові балансових моделей розподілу ресурсів у системі, на застосуванні теорії нечітких множин при оцінюванні можливостей розвитку таких систем.

Блок 6 «Розроблення практичних рекомендацій щодо діяльності ВВС» Надання та впровадження розроблених рекомендацій.

3. Методологічні засади моделювання процесів функціонування та розвитку ВВС.

3.1. Узагальнена динамічна модель оптимального економічного розвитку ВВС.

Загальна постановка задачі. Розглядається керуюча система (ВВС), стан якої у кожний момент часу задається вектором фазових координат (параметрів) $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$. Поводженням цієї системи можна керувати за допомогою параметрів $u(t) = (u_1(t), \dots, u_n(t))$, де $u \in U$, U — область припустимих значень керуючих параметрів. Динаміка системи описується системою диференціальних рівнянь $\frac{dx_i}{dt} = f_i(x, u)$, $i = 1, \dots, n$. Якщо задано припустиме керування $u = u(t)$, то система диференціальних рівнянь набуває вигляду $\frac{dx_i}{dt} = f_i(x, u(t))$. Мета керування полягає в тому, щоб функціонал від фазової та керуючої траєкторій набув найбільшого значення, тобто

$$\max \int_0^T f_0(x(t), u(t), t) dt = \int_0^T f_0(x^*(t), u^*(t), t) dt. \quad (4)$$

При цьому $u^*(t)$ — оптимальне керування, тоді фазова траєкторія $x^*(t)$ буде оптимальною фазовою траєкторією.

Для розв'язання задачі (4) вводяться спряжені змінні $\lambda_0, \psi_1(t), \dots, \psi_n(t)$ й будується функція Понтрягіна [10]:

$$H(\psi, x, u, t) = \sum_{i=1}^n \psi_i f_i(x, u, t) - \lambda_0 f_0(x, u, t). \quad (5)$$

Нехай $M(\psi, x, t) = \max_U H(\psi(t), x(t), u^*(t), t)$ є гамільтоніан. Тоді необхідною умовою оптимальності керування відповідно до принципу максимуму Понтрягіна щодо задачі (1) є виконання рівності $M(\psi, x, t) = H(\psi(t), x(t), u^*(t), t)$ та в кінцевий момент часу $\psi(T) \geq 0$,

$\sum_{i=1}^n \lambda_0 \psi_i(T)(x_i(T) - x_i^T) = 0$, де x_i^T — деякий заданий вектор, причому спряжені змінні задовольняють системі диференціальних рівнянь $\frac{d\psi_i}{dt} = -\frac{\partial M}{\partial x_i}$, $i = 0, \dots, n$.

Задача оптимального керування розподілом капіталовкладень, трудових ресурсів, первісних і вторинних ресурсів ВВС.

У роботі [11] розглянуто модель функціонування ВВС на прикладі літакобудівної галузі. Основу ВВС становлять модулі: ресурсний (Р — модуль), науково-виробничий (НВ — модуль), виробничий (В — виробничий) і ремонтно-сервісний (РС — модуль) (рис. 3). Базовим модулем у ВВС є Н-модуль, який націлений на проектування та розроблення високотехнологічної продукції. До складу регулюючих елементів динамічної системи входять центр регулювання (ЦР). Як керуючий параметр $u(\cdot)$ у моделі функціонування ВВС розглядається споживання $c(t)$, яке досягає максимального значення в деякій стаціонарній точці k^* за рахунок визначення в заданий момент часу оптимальних коефіцієнтів регулювання інвестицій a_i , $i = 1, 2, \dots, 4$ в i — модулі ВВС (рис. 3). На проміжку часу t періоду T система буде знаходитись у стаціонарному стані k^* (стаціонарна траєкторія), яка задовольняє умові $c(t) \geq c_0 > 0$, де c_0 — гранично припустимий нижній рівень питомого споживання ВВС.

Тоді на інтервалі T питоме споживання набуде значення

$$C(t) = \int_0^T c(t) dt, \quad (6)$$

де $c(t) = (1 - \sum_{i=1}^4 \alpha_i) \Pi(k)$.

Задача ЦР (рис. 3) як органу керування в цьому разі процесом інвестування $\bar{\alpha}$ для досягнення максимальної корисності ВВС від отриманого чистого прибутку набуває вигляду

$$\int_0^{\infty} e^{-\delta t} U(c(t)) dt \rightarrow \max, \quad (7)$$

де δ — параметр дисконтування, за рахунок якого майбутня корисність зводиться до теперішнього часу; $U(c(t))$ — функція корисності від отриманого ВВС чистого прибутку.

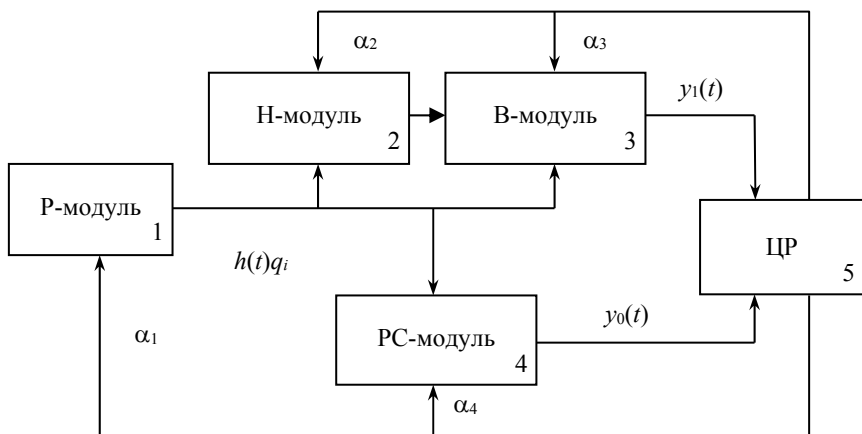


Рис. 3. Структурна схема функціонування динамічної системи

Потрібно врахувати, що функція корисності $U(c(t))$ — додатна зростаюча функція зі спадаючою граничною корисністю, тобто це строго ввігнута монотонно зростаюча функція, яка має такі властивості

$$U(c(t)) > 0, U'(c(t)) > 0, U''(c(t)) < 0, \lim_{c \rightarrow 0} U'(c(t)) = \infty, \\ \lim_{c \rightarrow \infty} U'(c(t)) = 0.$$

Тоді модель оптимального економічного розвитку ВВС набуває вигляду

$$\max_{c(t)} \int_0^{\infty} e^{-\delta t} U(c(t)) dt, \quad (8)$$

$$\dot{k}_i(t) = \alpha_i \Pi(h(t), k_1(t), k_2(t), k_3(t), l_1(t), l_2(t), l_3(t), q_2, q_3) - \mu_i k_i(t), \\ i = 1, \dots, 4, \quad y_0(t) - f_0(h(t), k_1(t), l_1(t), k_4(t), l_4(t), q_4) = 0, \quad c(t) \geq 0.$$

У моделі (8) функціонал є інтегралом розвитку ВВС, коли підприємство, вкладаючи інвестиції, є рентабельним. Керуючим параметром є чистий прибуток $c(t)$. Фазовими параметрами є фондоозброєність $\bar{k}(t)$, трудові $\bar{l}(t)$ та первісні (сировинні) $h(t)$ ресурси, q_i — параметри регулювання ресурсів (долі), μ_i — коефіцієнти амортизації. Розв'язкам цієї задачі є оптимальні траєкторії

$\vec{k}^*(t), \vec{l}^*(t), h^*(t)$, для яких досягається максимальний розвиток ВВС під час виробництва високотехнологічної продукції.

Розглянемо випадок, коли у виразі (8) $U(c(t)) = c(t)$, тоді динамічна модель оптимального економічного розвитку ВВС має вигляд:

$$c(k_0, k^*, \alpha) = (1 - \sum_{i=1}^4 \alpha_i(t)) \Pi(k(t)) \rightarrow \max \quad (9)$$

для системи:

$$\dot{k} = \alpha \Pi(k) - M k, \quad (10)$$

з краєвими умовами на інтервалі розвитку $[0, T]$: $k(0) = k_0, k(T) = k_1$, стаціонарним станом $k(t) = k^*$ на проміжку часу t інтервалу T і з фазовим обмеженням

$$f_0(k) \geq y_0, \quad (11)$$

де α — вектор часток інвестицій, $\Pi(k) = p_1 f(k) - B$ — прибуток, B — витрати, p_1 — ціна одиниці високотехнологічної продукції, M — діагональна матриця коефіцієнтів амортизації μ_i , k — вектор фондоозброєності, $f(k)$ — агрегована виробнича функція для Р-, Н- і В-модулів, $f_0(k)$ — агрегована виробнича функція для Р- і РС-модулів, y_0 — мінімально необхідний рівень ремонтно-сервісного обслуговування. Уважається, що коли $\sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1$, то весь прибуток іде на інвестиції і чистого прибутку немає, тобто $c(t) = (1 - \sum_{i=1}^4 \alpha_i) \Pi(k) = 0$. При $\sum_{i=1}^4 \alpha_i < 1$, $c(t) > 0$ чистий прибуток є і виробництво рентабельне.

Задача полягає в тому, щоб з початкової точки фондоозброєності k_0 вийти на стаціонарну траєкторію, коли зберігається оптимальність $k = k^*$, а в кінці інтервалу перейти в кінцеву точку розвитку k_1 . У цьому разі йтиметься про використання якісних методів досягнення оптимальних траєкторій. Як зазначено в літературі [10, 12–16] при аналізі секторних моделей до їх числа можна віднести магістральну теорію, методи досягнення стаціонарних точок, які засновані на принципах Лагранжа й максимуму Понтрягіна та теорії оптимального керування.

Задача оптимального керування інвестиціями. Для моделювання оптимальних траєкторій проводимо дискретизацію за-

дачі (9, 10, 11). Для цього інтервал $[0, T]$ розіб'ємо на N рівних частин і вважатимемо управління на кожному інтервалі (кроці)

$h = \frac{T}{N}$ сталим, тобто $u^n = (\alpha_1^n, \alpha_2^n, \alpha_3^n, \alpha_4^n)$, $n = 0, \dots, N-1$. Тоді динамічну систему (10) можна замінити за методом Ейлера різницеvim наближенням:

$$k^{n+1} = k^n + h(u^n \Pi(k^n) - M k^n), \quad (12)$$

а цільову функцію (9) за методом трапецій замінити сумою:

$$c(k_0, k^*, u) = h \sum_{n=0}^{N-1} (1 - \sum_{i=1}^4 \alpha_i^n) \frac{\Pi(k^n) + \Pi(k^{n+1})}{2}. \quad (13)$$

За допомогою програмного пакета Mathcad 2001 Professional проводилась максимізація функції (13) з керування $u^n = u^0, u^1, \dots, u^{N-1}$ за умов $k(0) = k_0$, $k(T) = k_1$ та фазового обмеження $f_0(k^n) \geq y_0$.

Розглянемо деякі характерні варіанти моделювання динамічної системи ВВС при проектуванні, серійному виробництві та ремонтно-сервісному забезпеченні високотехнологічної продукції.

Варіант 1. Нехай виробничі функції i -х модулів ВВС задаються функціями Кобба-Дугласу

$$F(k) := A \prod_{i=0}^3 (k_i)^{a_i}, \quad a := \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad A := 1, \quad F_0(k) := A_0 (k_0)^{a_0} \cdot (k_3)^{a_3},$$

$a_0 := 0.2$, $a_3 := 0.4$, $A_0 := 1$, $y_0 := 2$, з початковими значеннями фондоозброєності $k_0 = (5, 1, 1, 4)$, інтервалом $T := 100$ та кількістю точок моделювання $N := 10$ динамічної системи (9, 10, 11).

Початкові значення фондоозброєності модулів є умовно-відносними. У цьому прикладі можна стверджувати, що фондоозброєність в 1-му та 4-му модулі (Р- та РС-модулі) ВВС у 5–4 разів вища, ніж у 2-му та 3-му (НВ- та В-модулі), що потребує додаткових інвестицій у ці модулі. Цей варіант є типовим на стадіях проектування та виготовлення нової високотехнологічної продукції, коли необхідні значні ресурси, а також потрібно виконувати ремонтно-сервісні процеси вже виготовленої попередньої продукції.

Моделювання динамічної системи (рис. 4) показало, що можна визначити три зони керування:

- початкова, де згідно з динамікою траєкторій керування інвестиціями $PP_{n,i} = \alpha_i$ у відповідні i -і модулі ВВС йде або нарощування фондоозброєності цих модулів $Z_{n,i} = k_i$, або споживання отриманого чистого прибутку;

- середня (магістральна), де керування досягає оптимальних значень коефіцієнтів $\alpha^* = \alpha_i = (0.176, 0.210, 0.315, 0.142)$, а фондоозброєність — оптимального стаціонарного стану $k^* = kk_i = (3.660, 4.363, 3.272, 2.957)$;

- кінцева, яка при невизначеності кінцевої точки траєкторії розвитку системи (фактично вже після того, як система досягла оптимального стану й пробула в ньому певний період) дозволяє собі витратити кошти з чистого прибутку на споживання.

$$n := 0.. N - 1$$

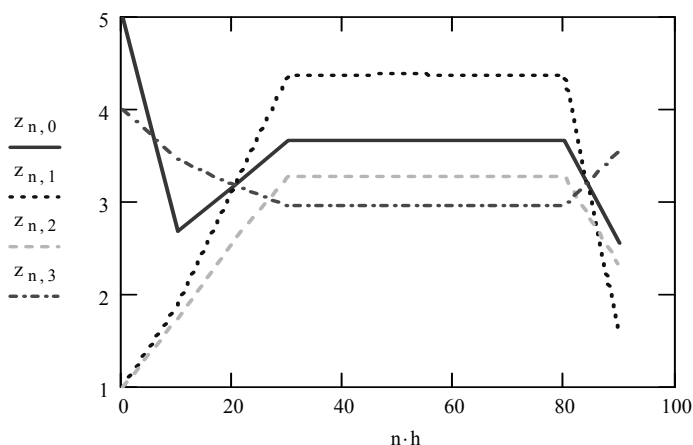


Рис. 4. Результат моделювання траєкторій фондоозброєності $Z_{n,i} = k_i$ динамічної системи при значеннях $T = 100$, $N = 10$, $k_0 = (5, 1, 1, 4)$ і незаданій кінцевій точці траєкторії розвитку $k_1 = k_i(T)$

У цьому прикладі задамо кінцеву точку траєкторії системи $k_1 = k_i(T)$, значення якої будуть збігатись зі стаціонарним станом системи $k^* = kk_i = k_i(T) = (3.660, 4.363, 3.272, 2.957)$, у програмі це кінцеве значення визначено як $K1(PP) = k_1$.

При моделюванні динамічної системи отримані позитивні результати (рис. 5). Це визначається тим, що магістраль подовжується до кінцевої точки системи k_1 . У цьому разі результати моделювання системи мають дві зони керування: початкову та магістральну.

Варіант 2. Цей процес функціонування динамічної системи характерний для виробництва, коли здійснюється проектування нової високотехнологічної продукції. Проводиться процес виготовлення досвідного зразка, його випробування та сертифікації. Виробничі функції i -х модулів ВВС задаються за аналогією з варіантом 1 функціями Кобба-Дугласа, вагові коефіцієнти дорівнюють $A = 2$ у функції $F(k)$ і $A_0 = 2$ — функції $F_0(k)$. Початкове значення фондоозброєності системи $k_0 = (5, 4, 1, 1)$, інтервал $T := 100$ та кількість точок моделювання $N := 10$ динамічної системи залишаємо без зміни. Кінцева точка розвитку системи становить $k_1 = k_i(T) = (3.660, 4.363, 3.372, 2.957)$.

$$n := 0.. N - 1$$

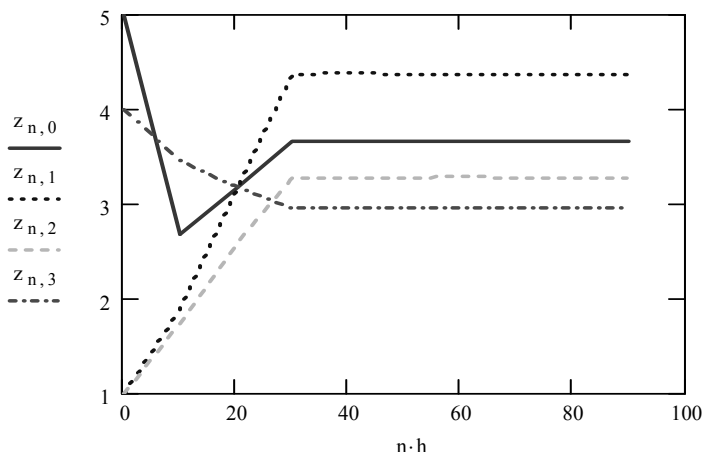


Рис. 5. Результат моделювання траєкторій фондоозброєності $Z_{n,i} = k_i$ динамічної системи при $T = 100$, $N = 10$, $k_0 = (5, 1, 1, 4)$ та заданій кінцевій точці траєкторії розвитку $k_1 = k_i(T) = (3.660, 4.363, 3.372, 2.957)$

У цьому разі спостерігаються також три зони керування динамічної системи: початкова, магістральна та кінцева. Але, урахувавши те, що вагові коефіцієнти виробничої функції змінені, сис-

тема виходить на нову магістраль з іншими оптимальними коефіцієнтами інвестицій $\alpha^* = \alpha_i = (0.102, 0.202, 0.298, 0.003)$ та стаціонарним станом системи $k^* = kk_i = (11.894, 21.472, 15.849, 0.303)$, де значний час там перебуває, а потім виходить на кінцеву точку системи $k_1 = kk_i = (3.360, 4.363, 3.372, 2.957)$ (рис. 6).

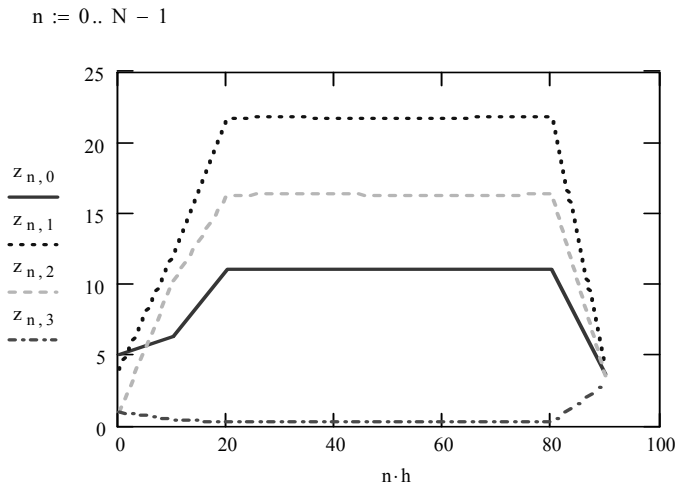


Рис. 6. Результат моделювання траєкторій фондоозброєності $Z_{n,i} = k_i$ динамічної системи при значеннях $T = 100$, $N = 10$, $k_0 = (5, 4, 1, 1)$ і заданій кінцевій точці траєкторії розвитку $k_1 = kk_i = (3.360, 4.363, 3.372, 2.957)$

Варіант 3. Змінені початкові значення фондоозброєності системи $k_0 = (1, 5, 4, 1)$ та кінцева точка розвитку системи — $k_1 = k_i(T) = (5, 2, 40, 10)$. Таким чином, у цьому прикладі системі, яка в НВ-модулі закінчила проектування та у В-модулі розпочала серійне виготовлення нової продукції, потрібно суттєво збільшити серійний випуск продукції (у 10 разів), а також одночасно активізувати ремонтно-сервісну роботу системи (також у 10 разів) і на цьому етапі зменшити науково-виробничу діяльність (у 2,5 разу). Ураховуючи те, що виробнича функція залишились без зміни, система виходить на ту ж саму магістраль, що й у варіанті 2 ($\alpha^* = \alpha_i = (0.102, 0.202, 0.298, 0.003)$, $k^* = kk_i = (11.894, 21.472, 15.849, 0.303)$), але кінцева траєкторія переходить на іншу, потужнішу, задану точку розвитку системи $K1(PP) = k_1$, де $k_1 = k_i(T) = (5, 2, 40, 10)$ (рис. 7).

$$n := 0..N - 1$$

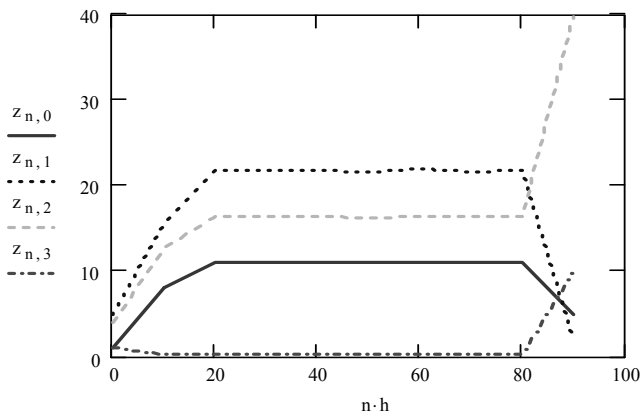


Рис. 7. Результат моделювання траєкторій фондоозброєності $Z_{n,i} = k_i$ динамічної системи при значеннях $T = 100$, $N = 10$, $k_0 = (1, 5, 4, 1)$, і заданій кінцевій точці траєкторії розвитку $k_1 = k_i(T) = (5, 2, 40, 10)$

Варіант 4. Виробництво може одночасно виконувати кілька процесів, а також різні виробничі та маркетингові програми. У цьому варіанті початкову точку оставимо без змін $k_0 = (1, 5, 4, 1)$, а кінцеву суттєво змінимо — $k_1 = k_i(T) = (30, 60, 40, 15)$. Наприкінці періоду T ($T = 100$, $N = 10$) потрібно в багато разів збільшити фондоозброєність НВ- та В-модулів та одночасно накопичити ресурсний потенціал Р-модуля та виконувати ремонтно-сервісне обслуговування вже виготовленої продукції. Виробничу функцію модулів ВВС залишимо без змін, тому динамічна система вийде на оптимальні магістральні значення щодо інвестицій та фондоозброєності, як і в попередніх прикладах ($(\alpha^* = \alpha_i = (0.102, 0.202, 0.298, 0.003))$, $k^* = k_i = (11.894, 21.472, 15.849, 0.303))$.

Система (рис. 8) у попередніх прикладах має три зони керування: початкову, магістральну, кінцеву. Порівняно з попередніми прикладами та результатами, кінцева зона керування збільшена, тобто системі потрібно раніше вийти з магістралі і в кінцевому періоді часу досягти потужнішої точки розвитку.

Подібний випадок характерний для динамічних систем, коли впродовж періоду розвитку систем T може змінюватися технологія виробництва. Наприклад, у процесі розвитку системи використовуватимуться нові унікальні ресурси для виробництва агрегованого продукту або наприкінці періоду потрібно пропонувати

нову виробничу програму для випуску нової високотехнологічної продукції. В обох випадках системі потрібно вийти з магістралі й досягти кінцевої точки розвитку k_1 . Кінцева точка розвитку динамічної системи може бути початком нової магістралі. Слід також зауважити, що для високотехнологічного виробництва певний період T системи становить зазвичай кілька років від початку проектування і до серійного випуску нової продукції. Тому ймовірність зміни технології залишається високою.

$$n := 0.. N - 1$$

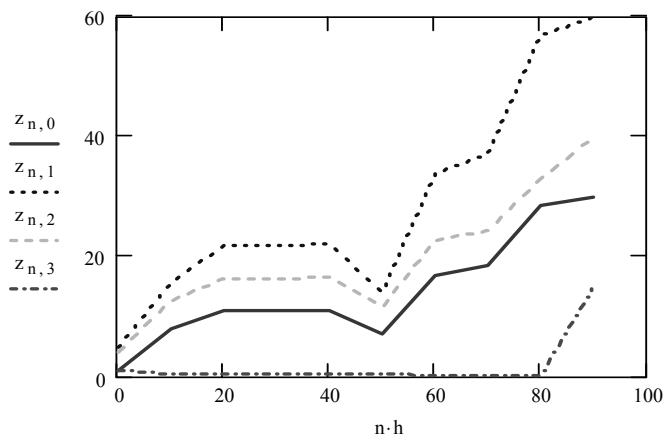


Рис. 8. Результат моделювання траєкторій фондоозброєності $Z_{n,i} = k_i$ динамічної системи при значеннях $T = 100$, $N = 10$, $k_0 = (1, 5, 4, 1)$ і заданій кінцевій точці траєкторії розвитку $k_1 = k_i(T) = (30, 60, 40, 15)$

Результати моделювання траєкторій управління $u^n = u^0, u^1, \dots, u^{N-1}$ (інвестицій) і фондоозброєності k^n показують, що:

1) загальна модель динамічної системи (8, 9, 10) має три зони керування: початкову, магістральну та кінцеву. Після завершення перехідного процесу система перебуває у стаціонарному стані оптимального розвитку, що характеризується сталістю питомих показників з фондоозброєності при різних значеннях періоду моделювання T і кількості рівних частин N . Кінцева частина керування призначена для виходу в задану точку системи;

2) інвестиції розподіляються в i -ті модулі ВВС у відповідних пропорціях у перехідному процесі моделі, які забезпечують у подальшому вихід на магістральну траєкторію оптимального розподілу фондоозброєності та споживання за кожним i -м модулем

ВВС на постійному рівні k^* , α^* при різних початкових значеннях фондоозброєності $k(0) = k_0$ (рис. 2–6);

3) як показали результати моделювання динамічної системи в початковій і кінцевій зонах керування, зазвичай потрібні значні інвестиції. Вони вкладаються для оптимізації виробничої програми ВВС при розробці нової продукції. Тому важливо якнайшвидше досягти магістралі, тривалий час у ній знаходитись і потім якомога швидше вийти на кінцеву точку розвитку системи;

4) у загальному вигляді в динамічній моделі (8) функціонал є інтегралом розвитку ВВС, коли інтегроване підприємство, вкладаючи інвестиції, є рентабельним. Керуючим параметром є розподіл інвестицій $\bar{\alpha}(t)$. Фазовими параметрами є фондоозброєність $\bar{k}(t)$, трудові $\bar{l}(t)$, первісні (сировинні) $h(t)$. Розв'язкам цієї задачі є оптимальні траєкторії $\bar{k}^*(t)$, $\bar{l}^*(t)$, $h^*(t)$, для яких досягається максимальний розвиток ВВС при виробництві високотехнологічної продукції;

5) ВВС у формі корпоративних об'єднань на початку свого становлення (розвитку) мають неоднакові економічні характеристики, тому потребують додаткових організаційно-методологічних компетенцій (заходів) та інвестицій для розвитку й управління. Багатомодульність структури ВВС дає змогу маніпулювати коефіцієнтами інвестицій α_i залежно від обсягів отриманого чистого прибутку, програми розроблення нової продукції, її кількості та властивостей подальшої експлуатації та сервісно-ремонтних робіт.

3.2. Модель оцінювання ефективності діяльності високо-технологічної виробничої системи

На основі аналізу методик оцінювання конкурентного статусу підприємства розроблено модель оцінювання ефективності діяльності ВВС на підґрунті основних положень теорії нечіткої логіки.

В основу моделі оцінювання ефективності роботи ВВС було покладено методику оцінювання конкурентного статусу підприємства на ринку [17], модифіковану з урахуванням підходів до оцінювання інтегрального показника фінансового стану [18].

Оцінювання ефективності роботи ВВС має бути здійснено за такими напрямками:

- робота виробничої підсистеми (зокрема виробничі та технологічні аспекти потенціалу розвитку системи) — S_1 ;
- робота фінансово-економічної підсистеми (фінансові та збутові аспекти потенціалу) — S_2 ;
- робота управлінської підсистеми (аспекти потенціалу як менеджмент ефективності та інновацій) — S_3 .

Для побудови цієї моделі було застосовано такий алгоритм розробки [19, 20]:

етап 1: вибір показників, що будуть враховані в моделі;

етап 2: опис лінгвістичних змінних;

етап 3: визначення типів функцій належності та їх побудова;

етап 4: побудова бази нечітких знань;

етап 5: налаштування параметрів моделі та визначення вихідних характеристик.

Вихідний параметр Z (інтегральний показник ефективності діяльності) визначається на основі кількісних та якісних показників s_{ij} , що характеризують роботу виробничої (S_1), фінансово-економічної (S_2) та управлінської підсистем (S_3) ВВС:

$$Z = f(S_1 \dots S_m), S_i = f(s_{i1} \dots s_{in}), s_{ij} = f(s_{ij1} \dots s_{ijh}), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, l = \overline{1, h}, \quad (14)$$

де Z — інтегральний показник рівня ефективності роботи ВВС; S_i — узагальнюючі ознаки станів підсистем, $i = \overline{1, m}$; i — номер характеристики стану підсистеми; m — кількість станів підсистеми, $m = 3$; s_{ij} — узагальнюючі ознаки оцінювання параметрів станів підсистем, $j = \overline{1, n}$; j — номер параметрів i , n — кількість параметрів, що характеризують стан i , $n = 8$ (техніко-економічні параметри, параметри використання виробничих ресурсів, параметри фінансової стійкості та автономії, параметри обертання оборотних активів, параметри оцінки платоспроможності та ліквідності, параметри рентабельності, параметри оцінки інновацій і технологій, параметри управління; s_{ijl} — оціночні показники, що входять до складу s_{ij} , l — номер показника параметра стану підсистеми, h — кількість показників у групі параметрів j (номенклатура яких ранжується залежно від періоду аналізу (поточний, оперативний, стратегічний).

Для відображення залежності між вхідними та вихідними параметрами моделі за допомогою лінгвістичних правил «Якщо — то» сформуємо лінгвістичні характеристики якісних термів стану виробничої, фінансово-економічної та управлінської підсистем ВВС $\{ДН, Н, С, В, ДВ\}$: $ДН$ — дуже низький, $Н$ — низький, $С$ — середній рівень, $В$ — високий рівень, $ДВ$ — дуже високий.

Позначимо задані терм-множини таким чином:

$$A_{i*} = \{a_{i*}^1, a_{i*}^2, a_{i*}^3, a_{i*}^4, a_{i*}^5\} = \left\{ \begin{aligned} a_{i*}^1 &= "ДН", \\ a_{i*}^2 &= "Н", a_{i*}^3 = "С", a_{i*}^4 = "В", a_{i*}^5 = "ДВ" \end{aligned} \right\}, \quad (15)$$

де a_{i*}^p — p -й лінгвістичний терм i^* -ї змінної, $p = \overline{1,5}$, $i^* = \overline{1,11}$;

i^* — наскрізний номер вхідних лінгвістичних змінних.

Результуючий параметр Z дає можливість оцінити рівень ефективності діяльності ВВС за такою шкалою терм-множин $\{П, З, НЗ, К\}$: $П$ — позитивний, $З$ — задовільний, $НЗ$ — незадовільний, $К$ — критичний. Позначимо цю терм-множину таким чином:

$$G = \{g^1, g^2, g^3, g^4\} = \{g^1 = "П", g^2 = "З", g^3 = "НЗ", g^4 = "К"\}, \quad (16)$$

де g^k — k -й лінгвістичний терм вихідної змінної Z , $k = \overline{1,4}$.

У табл. 1 представлено значення нечітких термів описаних вище терм-множин вхідних і вихідних змінних.

Таблиця 1

ПАРАМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВВС

Номер лінгвістичної змінної	Позначення лінгвістичних змінних	Назва лінгвістичних змінних	Базова терм-множина лінгвістичної змінної	Синтаксичний опис значень лінгвістичної змінної
Вхідні змінні				
$i^* = 1$	s_{i7}	техніко-економічні параметри	A_1	$a_1^1, a_1^2, a_1^3, a_1^4, a_1^5$
$i^* = 2$	s_{i2}	параметри використання виробничих ресурсів	A_2	$a_2^1, a_2^2, a_2^3, a_2^4, a_2^5$
$i^* = 3$	s_{i3}	параметри фінансової стійкості та автономії	A_3	$a_3^1, a_3^2, a_3^3, a_3^4, a_3^5$
$i^* = 4$	s_{i4}	параметри обертання оборотних активів	A_4	$a_4^1, a_4^2, a_4^3, a_4^4, a_4^5$
$i^* = 5$	s_{i5}	параметри оцінки платоспроможності та ліквідності	A_5	$a_5^1, a_5^2, a_5^3, a_5^4, a_5^5$
$i^* = 6$	s_{i6}	параметри рентабельності	A_6	$a_6^1, a_6^2, a_6^3, a_6^4, a_6^5$
$i^* = 7$	s_{i7}	параметри оцінки інновацій та технологій	A_7	$a_7^1, a_7^2, a_7^3, a_7^4, a_7^5$
$i^* = 8$	s_{i8}	параметри управління	A_8	$a_8^1, a_8^2, a_8^3, a_8^4, a_8^5$
$i^* = 9$	S_1	рівень роботи виробничої підсистеми	A_9	$a_9^1, a_9^2, a_9^3, a_9^4, a_9^5$
$i^* = 10$	S_2	рівень роботи фінансово-економічної підсистеми	A_{10}	$a_{10}^1, a_{10}^2, a_{10}^3, a_{10}^4, a_{10}^5$
$i^* = 11$	S_3	рівень роботи управлінської підсистеми	A_{11}	$a_{11}^1, a_{11}^2, a_{11}^3, a_{11}^4, a_{11}^5$
Вихідні змінні				
—	Z	показник ефективності роботи ВВС	G	g^1, g^2, g^3, g^4

Функція належності виконує задачу усереднення значень експертних оцінок відносно розподілу елементів за множинами. Нехай існує деяка універсальна множина U (яка включає в себе набір можливих значень i^* -ї змінної), тоді існує нечітка підмножина A , що описує обмеження на можливі значення змінної a_{i^*} .

Тоді A можна визначити як $A = \{s_{ij}, \mu^{a_{i^*}^p}(s_{ij}); s_{ij} \in U\}$ та $A = \{S_i, \mu^{a_{i^*}^p}(S_i); S_i \in U\}$, де $\mu^{a_{i^*}^p}(s_{ij})$ і $\mu^{a_{i^*}^p}(S_i)$ — характеристичні функції належності, які набувають значення на інтервалі від 0 до 1, причому:

$$\begin{aligned} \mu^{a_{i^*}^p}(S_i) &> 0, \forall S_i \in U \\ \mu^{a_{i^*}^p}(S_i) &= 0, \forall S_i \notin U \\ \sup_{S_i \in U} [\mu^{a_{i^*}^p}(S_i)] &= 1 \end{aligned} \quad (17)$$

аналогічно і для $\mu^{a_{i^*}^p}(s_{ij})$. Таким чином, функція $\mu^{a_{i^*}^p}(S_i)$ визначає ступінь належності елементів S_i та s_{ij} підмножині A .

Для визначення параметрів $\mu^{a_{i^*}^p}(S_i)$ і $\mu^{a_{i^*}^p}(s_{ij})$ доцільно застосовувати дзвоноподібні функції належності [21, 22], оскільки на всій області визначення вони є гладкими та приймають не нульові значення.

Результуючий параметр z дає можливість оцінити рівень ефективності діяльності ВВС за такою шкалою терм-множин ($g^k, k = \overline{1,4}$): П — позитивний, З — задовільний, НЗ — незадовільний, К — критичний.

Характеристична функція належності $\mu^{g^k}(Z)$ нечітких термів g^k вихідної змінної Z , набуває значення на інтервалі від 0 до 1:

$$\mu^{g^k}(Z) = \frac{1}{1 + \left| \frac{Z - c}{d} \right|^{2b}}, \quad (18)$$

де d — коефіцієнт концентрації-розтягування П-подібної функції належності (bell-shaped), c — координата максимуму функції, b — параметр налаштування.

Далі сформуємо набір правил — нечітку базу знань, що являє собою експертно-логічні висновки для базових критеріїв оцінювання для оцінювання станів підсистеми.

Фінальне правило про позитивний загальний рівень ефективності роботи ВВС в аналітичній формі можна сформулювати в такий спосіб:

$$\mu^I(S_1 \dots S_3) = \mu^{DB}(S_1) \cdot \mu^{DB}(S_2) \cdot \mu^{DB}(S_3) \vee \mu^B(S_1) \cdot \mu^C(S_2) \cdot \mu^C(S_3) \vee, \quad (19)$$

$$\mu^C(S_1) \cdot \mu^{DB}(S_2) \cdot \mu^B(S_3)$$

де через $\vee$ — позначається операція логічної диз'юнкції (співносьється із операцією «АБО») така, що

$$\mu^{a_i^p}(S_i) \vee \mu^{a_{i+1}^p}(S_{i+1}) = \max(\mu^{a_i^p}(S_i), \mu^{a_{i+1}^p}(S_{i+1}));$$

($\wedge$) — позначається операція логічної кон'юнкції (співносьється з операцією «ТА») така, що

$$\mu^{a_i^p}(S_i) \wedge \mu^{a_{i+1}^p}(S_{i+1}) = \min(\mu^{a_i^p}(S_i), \mu^{a_{i+1}^p}(S_{i+1})).$$

Аналогічним чином можна представити фінальні правила для трьох інших термів (З, НЗ, К):

$$\mu^3(S_1 \dots S_3) = \mu^C(S_1) \cdot \mu^C(S_2) \cdot \mu^C(S_3) \vee \mu^H(S_1) \cdot \mu^B(S_2) \cdot \mu^H(S_3) \vee, \quad (20)$$

$$\mu^C(S_1) \cdot \mu^H(S_2) \cdot \mu^{DB}(S_3)$$

$$\mu^{H3}(S_1 \dots S_3) = \mu^H(S_1) \cdot \mu^H(S_2) \cdot \mu^H(S_3) \vee \mu^H(S_1) \cdot \mu^H(S_2) \cdot \mu^C(S_3) \vee, \quad (21)$$

$$\mu^B(S_1) \cdot \mu^C(S_2) \cdot \mu^{DH}(S_3)$$

$$\mu^K(S_1 \dots S_3) = \mu^{DH}(S_1) \cdot \mu^{DH}(S_2) \cdot \mu^{DH}(S_3) \vee \mu^C(S_1) \cdot \mu^{DH}(S_2) \cdot \mu^H(S_3) \vee, \quad (22)$$

$$\mu^{DH}(S_1) \cdot \mu^{DH}(S_2) \cdot \mu^B(S_3)$$

Розглянемо набір правил, наприклад, для параметричної оцінки стану фінансово-економічної підсистеми:

$$\mu^{DB}(s_{23}, s_{24}, s_{25}, s_{26}) = \mu^{DB}(s_{23}) \cdot \mu^{DB}(s_{24}) \cdot \mu^{DB}(s_{25}) \cdot \mu^{DB}(s_{26}) \vee, \quad (23)$$

$$\mu^{DB}(s_{23}) \cdot \mu^B(s_{24}) \cdot \mu^{DB}(s_{25}) \cdot \mu^{DB}(s_{26})$$

$$\mu^B(s_{23}, s_{24}, s_{25}, s_{26}) = \mu^B(s_{23}) \cdot \mu^B(s_{24}) \cdot \mu^B(s_{25}) \cdot \mu^B(s_{26}) \vee, \quad (24)$$

$$\mu^B(s_{23}) \cdot \mu^C(s_{24}) \cdot \mu^{DB}(s_{25}) \cdot \mu^B(s_{26})$$

$$\mu^C(s_{23}, s_{24}, s_{25}, s_{26}) = \mu^C(s_{23}) \cdot \mu^C(s_{24}) \cdot \mu^C(s_{25}) \cdot \mu^C(s_{26}) \vee \mu^H(s_{23}) \cdot \mu^H(s_{24}) \cdot \mu^B(s_{25}) \cdot \mu^C(s_{26}) \quad (25)$$

$$\mu^H(s_{23}, s_{24}, s_{25}, s_{26}) = \mu^H(s_{23}) \cdot \mu^H(s_{24}) \cdot \mu^H(s_{25}) \cdot \mu^H(s_{26}) \vee \mu^C(s_{23}) \cdot \mu^{DH}(s_{24}) \cdot \mu^C(s_{25}) \cdot \mu^H(s_{26}) \quad (26)$$

$$\mu^{DH}(s_{23}, s_{24}, s_{25}, s_{26}) = \mu^{DH}(s_{23}) \cdot \mu^{DH}(s_{24}) \cdot \mu^{DH}(s_{25}) \cdot \mu^{DH}(s_{26}) \vee \mu^{DH}(s_{23}) \cdot \mu^C(s_{24}) \cdot \mu^{DH}(s_{25}) \cdot \mu^C(s_{26}) \quad (27)$$

Аналогічно відбувається формування повного набору фінальних правил як для станів, так і для параметрів станів підсистем і визначається система нечітких логічних рівнянь.

Для вираження ступеня зв'язку вихідної змінної та вхідних, функцію належності вхідних змінних S_i значенню вихідної змінної Z можна представити як:

$$\mu^{g^k}(S_1, S_2, S_3) = \bigvee_{p=1}^5 \left[\bigwedge_{i^*=9,11}^{11} \mu^{a_{i^*}^p}(S_i) \right]. \quad (28)$$

Тоді, виходячи з положень теорії нечітких множин, на основі рівняння (28) можна сформуувати нечітку множину вихідної змінної Z :

$$\mu^{g^k}(Z) = \max_{p=1,5} \left(\min_{i^*=9,11} \mu^{a_{i^*}^p}(S_i) \right), \quad (29)$$

де $\mu^{a_{i^*}^p}(S_i)$ — функція належності вхідної змінної S_i до терму $a_{i^*}^p$;

$\mu^{g^k}(Z)$ — функція належності вхідної змінної Z до терму g^k .

В основі рівня (26) лежить метод ідентифікації лінгвістичного терму, що має назву максимуму функції належності.

Визначення рівня ефективності стану роботи ВВС здійснюється на основі алгоритму типу Мамдані як одного з найпоширеніших методів нечіткого виведення [23].

Метод Мамдані визначається таким чином:

1) формування бази правил систем нечіткого виведення. База знань складається з правил вигляду:

якщо $x = A_1$ і $y = B_1$, то $z = C_1$; а також, якщо $x = A_2$ і $y = B_2$, то $z = C_2$;

2) значення вхідної та вихідної змінної задаються нечіткими множинами;

3) реалізація: для операції АБО — знаходження максимуму, а для операції І — знаходження мінімуму;

4) для знаходження ступеня істинності умов кожного з правил використовуються парні нечіткі логічні операції;

5) акумуляція виконується об'єднанням нечітких множин, які належать до однакових вихідних лінгвістичних змінних;

6) при дефазифікації вихідних змінних використовується метод центру мас або метод центру площини.

В якості методу логічної кон'юнкції (об'єднання або операція «І») було використано метод алгебраїчного добутку, яку, наприклад, відносно розв'язку поставленої задачі можна відобразити так:

$$\mu(s_{23} \wedge s_{24}) = \mu(s_{23}) \times \mu(s_{24}).$$

В якості методу диз'юнкції (розділення або операція «АБО») був використаний метод максимального значення:

$$\mu(s_{23} \vee s_{24}) = \max[\mu(s_{23}), \mu(s_{24})].$$

Для реалізації можливості здійснення висновків застосували також метод алгебраїчного добутку, або метод *prod*-активізації, який можна відобразити як:

$$\mu'(S_2) = c_i \times \mu(S_2),$$

де, $\mu(S_2)$ — функція належності терма, який є значенням деякої вихідної змінної S_2 , що задана в певній підмножині A ; c_i — добуток ступеня істинності умови на ваговий коефіцієнт правила.

При агрегації (процедура визначення ступеня відповідності умови певному правилу системи нечіткого висновку) використано метод максимального значення, що був розглянутий вище. Реалізація процедури дефазифікації (процес знаходження звичайного не нечіткого значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних) здійснюється через метод центра важкості для дискретної кількості одноточкових множин.

Проведено оцінювання роботи фінансово-економічної підсистеми низки підприємств металургійної промисловості, зокрема на «ПАТ Житомирський завод огорожувальних конструкцій», аналітичним шляхом та із застосуванням розробленої нечіткої моделі (табл. 2).

Таблиця 2

**ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОЇ ПІДСИСТЕМИ**

Показник	Нормат. значення	min по галузі	max по галузі	Результати здійсненої оцінки:	
				розрах. значення	логічний висновок
Параметри фінансової стійкості та автономії					
Коефіцієнт автономії	>0,5	0,149	0,851	0,851	ДВ
Коефіцієнт співвідношення позикових і власних коштів	<0,5	0,174	5,694	0,174	ДН
Коефіцієнт забезпеченості власними оборотними засобами	>0,1	-1,083	0,586	0,559	В
Коефіцієнт маневреності	>0,5	-0,917	4,616	0,310	Н
Коефіцієнт інвестування	—	0,569	13,427	4,589	С
Загальний висновок	Параметри оцінено як «В»				
Параметри обертання оборотних активів					
Коефіцієнт обертання оборотних активів	↑	0,032	4,114	0,959	Н
Коефіцієнт обертання запасів	↑	0,711	9,339	1,480	Н
Коефіцієнт обертання дебіторської заборгованості	↓	0,042	9,760	4,402	В
Коефіцієнт обертання кредиторської заборгованості	↑	0,061	6,334	2,375	С
Загальний висновок	Параметри оцінено як «Н»				
Параметри оцінювання платоспроможності та ліквідності					
Коефіцієнт абсолютної ліквідності	>0,2	0,000	6,342	1,142	С
Коефіцієнт платоспроможності	>1	0,569	13,836	4,589	С
Загальний висновок	Параметри оцінено як «С»				
Параметри рентабельності					
Коефіцієнт рентабельності власного капіталу	↑	-0,835	0,441	0,134	С
Коефіцієнт рентабельності акціонерного капіталу	↑	-108,066	31,708	2,658	В
Коефіцієнт рентабельності інвестованого капіталу	↑	0,000	0,064	0,000	ДН
Коефіцієнт рентабельності активів	↑	-0,056	0,083	0,033	С
Коефіцієнт рентабельності оборотних активів	↑	-0,088	0,150	0,086	В
Коефіцієнт рентабельності продажів	↑	-0,130	0,097	0,090	ДВ
Коефіцієнт рентабельності продукції	↑	-0,169	0,126	0,110	В
Загальний висновок	Параметри оцінено як «С»				
Висновок про ефективність роботи фінансово-економічної підсистеми ВВС: Можна оцінити як «С»					

Аналітичні дослідження стану фінансово-економічної підсистеми ПАТ «Житомирський завод огороджувальних конструкцій» показують, що фінансова стійкість і коефіцієнти обертання оборотних активів у межах норми; платоспроможність і ліквідність системи — на середньому рівні; показники рентабельності свідчать про нормальну роботу підприємства.

Таким чином, розроблена модель оцінювання ефективності діяльності ВВС після реалізації інтеграційних процесів втілює в собі базу нечітких знань про об'єкт ідентифікації, побудовану експертним шляхом, і механізм логічного висновку на основі інтегрального показника ефективності роботи ВВС.

4. Інтелектуальна підтримка побудови інформаційних управляючих систем

4.1. Структура комплексу управління високотехнологічної виробничої системи

У процесі інжинірингу ВВС, зокрема менеджменту, вирішуються прикладні задачі. При цьому корисно, а значною мірою й необхідно використовувати основні принципи, що встановлені для кібернетичних систем [24, 25]. Кібернетична система (КС) — це сукупність пов'язаних один з одним об'єктів (елементів системи), які здатні сприймати, зберігати, переробляти інформацію, а також обмінюватися нею. КС є найзагальнішою абстрактною моделлю систем, які досліджуються методами кібернетики.

Складність і розмаїтість функціональних задач менеджменту ВВС спричинені доцільністю включення організаційно-методичних компетенцій (заходів), які реалізуються з позицій використання КС.

Сучасні концепції створення КС спираються на три основні технології: об'єктно-орієнтовану технологію, CASE-технологію та технологію, орієнтовану на знання [26].

Об'єктно-орієнтована технологія стосується переважно створення програмного забезпечення КС. З об'єктно-орієнтованими інструментальними засобами (C++, Level 5 Object та іншими) пов'язана можливість багаторазового використання створених раніше програм, що полегшує як швидке створення прикладних програм КС, так і швидку їх адаптацію в процесі використання.

CASE-технологія, або інженерія КС, є сукупністю технологічних та інструментальних засобів, що дають змогу максимально систематизувати й автоматизувати всі етапи створення програмного забезпечення КС. Серед інструментальних засобів створення КС найвідомішими є CASE-засоби Brwin та Erwin (розробник — «Platinum Technology»), які дають можливість створювати моделі процесів організацій.

Технологія, заснована на знаннях, або інтелектуальна технологія, передбачає впровадження в КС елементів штучного інтелекту, зокрема баз знань і правил виведення для оброблення якісної інформації та природної мови. До інструментальних засобів інтелектуальних технологій належить продукт INTELLECT від «AI Corp», який дає змогу збирати, надавати й аналізувати дані відповідно до запитань англійською мовою.

Застосування КС-управління припускає при розробці такої системи приділяти значну увагу засобам підвищення надійності, використання автоматизованих процедур та алгоритмів. У рамках цієї схеми широко використовуються прийоми агрегування та методи композиції.

Застосування методів декомпозиції варто розглядати в комплексі з функцією планування й методами композиції. Докладніше ці питання розглянуто в [27]. Проведені там модельні дослідження показали принципову можливість зменшення складності моделі декомпозиції порівняно з початковою моделлю.

Опис законів функціонування КС задається трьома сімействами функцій:

- функціями, що визначають зміни станів елементів системи $S(t)$;
- функціями, що задають вихідні сигнали елементів $U(t)$;
- функціями, що викликають зміни в структурі КС.

Для завдання повного опису КС необхідно, крім функцій $S(t)$, $U(t)$, $W(t)$ задати початковий стан КС, тобто початкову структуру W_0 і початкові стани всіх її елементів S_0 . Для дослідження дискретних КС основним інструментом є апарат теорії алгоритмів, автоматів, інформації.

Складність опису КС визначається двома основними факторами: розмірністю (кількістю елементів і параметрів, які їх описують) і складністю структури КС, що зумовлена загальним числом зв'язків між її елементами та їх розмаїтістю. Складні системи управління — це системи з описами, що не зводяться до опису одного типового елемента та вказівки загальної кількості таких елементів. При визначенні складності таких систем використовують різні моделі й методи моделювання, зокрема декомпозицію та агрегування. Однак у цьому напрямі можливості моделювання обмежені. Відома теза Джона фон Неймана говорить про те, що існує поріг складності системи, після досягнення якого найпростішим описом моделі стає сама система [28].

Схема функціонування КС, зокрема довільної системи управління, у найзагальнішому вигляді зображується як кругообіг інформації з таким ритмом, який забезпечує нормальне функціо-

нування об'єкта. При цьому система управління видає керуючі впливи на об'єкт по каналу прямого зв'язку, результати якого відображаються об'єктом управління, фіксуються й передаються в систему управління по каналу зворотного зв'язку, потім формується новий керуючий вплив, і цикл керування повторюється спочатку. Використання зворотного зв'язку, відоме під назвою «принцип зворотного зв'язку», — це фундаментальний принцип КС. Принцип зворотного зв'язку є основою побудови систем моніторингу й контролінгу [29].

Для керованої системи необхідно знати й передбачати її поведінку при можливих різних впливах на неї, для цього потрібно мати в своєму розпорядженні модель системи. Управляючі системи прикладного характеру доволі складні й для забезпечення свого функціонування вимагають дотримання певних принципів. Назвемо їх.

1. Визначення мети керування при забезпеченні стійкості системи.

2. Обов'язковий облік можливих несприятливих зовнішніх впливів, які можуть вивести КС зі стійкої рівноваги.

3. Необхідність забезпечення засобів та алгоритмів керування з розробкою:

- а) експертних систем;
- б) систем підтримки прийняття управлінських рішень;
- в) систем оцінювання наслідків прийняття пропонованих рішень;
- г) сполучення макро- і мікромоделей;
- д) алгоритмів навчання, самонавчання й самовдосконалення;
- е) оптимізаційних розподільних алгоритмів.

4. Розроблення засобів контролю виконання програми управління на основі використання каналів зворотного зв'язку, систем моніторингу й контролінгу.

Для реалізації зазначених принципів у складі менеджменту має бути передбачено побудову таких систем:

- підтримки прийняття управлінських рішень;
- оцінювання наслідків прийнятих рішень;
- керування ризиком прийнятих рішень;
- експертної системи підтримки управлінських рішень;
- динамічної системи оптимального розподілу ресурсів.

Типові інтеграційні структури ВВС, які розглянуті в пункті 1 (рис. 1), включають єдиний центр стратегічного управління, планування і маркетингових досліджень. Доцільно до складу менеджменту ВВС цієї структури включити системи стратегічного управління і планування та стратегічного маркетингового дослідження.

4.2. Модель управління економічним об'єктом на базі теорії нечітких множин

Розглянемо модель управління економічного об'єкта (ЕО — може бути окреме підприємство або загалом виробнича система), коли забезпеченість ресурсами ВВС, що досліджується, стабільна, і будемо розглядати тільки невизначеності ринку збуту. Невизначеності ринку збуту, якщо йдеться про дослідження безпосередньо ЕО, а не його «оточення», можна описувати мовою «залишків». Залишок — це кількість товару на складі кінцевої продукції, наприклад для проведення ремонтно-сервісного обслуговування високотехнологічної продукції. Він показує, наскільки добре покупці-посередники беруть товар на складі готової продукції. Залишок є індикатором попиту в покупця-посередника.

Невизначеності ринку збуту, якщо йдеться про дослідження «оточення» ВВС, можна описувати мовою попиту кінцевого споживача. З погляду керівництва ВВС, вхідною інформацією для керування буде інформація, яка стосується невизначеностей ринку збуту, тобто динаміка попиту й залишків.

Оскільки вигляд виробничої функції ВВС фіксований

$$y = f(\vec{x}, \vec{a}), \quad (30)$$

а проблем з ресурсами немає, де $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — відповідно вибрані ресурси з n -класів ресурсів та їх параметри $\vec{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, то керуюча дія може стосуватися лише параметрів виробничої функції — $\vec{a}$. Таким чином, керуюча дія — це параметри виробничої функції. Наведена модель (30) опису невизначеності обсягу випуску продукції вимагає специфічного підходу при виборі математичного апарату для її дослідження, оскільки ЕО, що розглядаються як сукупність підприємств у складі об'єднання з різною організаційно-технічною специфікою, зі своїми унікальними ринковими нішами й цілями, не мають властивостей статистичної однорідності, унаслідок чого допустимість використання імовірнісних методів обмежена [30]. Більш адекватними теоріями є теорія нечітких множин і нечітка логіка [21, 23, 30].

Наступний виклад буде присвячений нечітко-множинному моделюванню процесу управління деякого ЕО, який заснований на динаміці «залишків» і попиту. Практично динаміку залишків можна охарактеризувати як хаотичні коливання.

До основних характеристик хаотичних коливань відносяться мінімальне та максимальне значення на інтервалі, що досліджується. Саме ці характеристики і є однією з компонент для «вхідної інформації» нечітко-множинного керування.

Позначимо: $w = w(t)$ — величина залишку в момент часу t ; $v = v(t)$ — попит у момент часу t ; $u = u(t)$ — керуючий вплив у момент часу t .

Схему управління ЕО, що досліджується, подано на рис. 9.

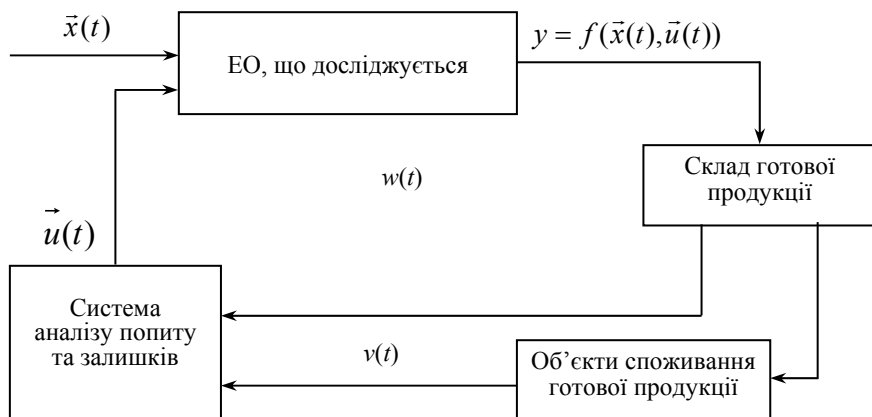


Рис. 9. Схема управління ЕО

Запропонований підхід до управління аналогічний підходу, який отримав назву «алгоритм нечітко-множинного управління перевернутим маятником» [31]. «Перевернутий маятник» вважається встановленим на рухомому візку [46].

Правила розв'язання цієї задачі виглядають так:

ЯКЩО кут відхилення великий, **ТО** необхідно *швидко* переміщуватись у тому самому напрямку, що й відхилення;

ЯКЩО кут відхилення малий, **ТО** необхідно *повільно* переміщуватись у тому самому напрямку, що й відхилення;

ЯКЩО кут відхилення дорівнює нулю, **ТО** *не слід* переміщуватись зовсім.

Повертаючись до нашої задачі, неважко зрозуміти, що дії «керівництва» ЕО аналогічні діям, які здійснюють при управлінні «перевернутим маятником».

Тоді логіка керування випуском продукції така:

ЯКЩО попит зростає, **ТО** треба пропорційно збільшити обсяг випуску продукції;

ЯКЩО попит падає, **ТО** треба пропорційно зменшити обсяг випуску продукції;

ЯКЩО попит стабільний, **ТО** не треба змінювати обсяг випуску продукції;

ЯКЩО залишок зростає, **ТО** треба пропорційно зменшити обсяг випуску продукції;

ЯКЩО залишок зменшується, **ТО** треба пропорційно збільшити обсяг випуску продукції;

ЯКЩО залишок стабільний, **ТО** не треба змінювати обсяг випуску продукції.

Введемо у розгляд лінгвістичні змінні v_l , w_l , u_l , які оцінюються за допомогою словесних термів на п'яти й семи рівнях.

Нехай $w_{\min}$ — мінімально допустимий рівень залишків, $w_{\max}$ — максимально допустимий рівень залишків.

$$\text{Покладемо } v_l = \begin{cases} \text{попит дуже падає} & v_1 \\ \text{попит падає} & v_2 \\ \text{попит стійкий} & v_3 \\ \text{попит зростає} & v_4 \\ \text{попит дуже зростає} & v_5 \end{cases},$$

$$w_l = \begin{cases} \text{залишок дуже наближається до } w_{\min} & w_1 \\ \text{залишок наближається до } w_{\min} & w_2 \\ \text{золота середина} & w_3 \\ \text{залишок наближається до } w_{\max} & w_4 \\ \text{залишок дуже наближається до } w_{\max} & w_5 \end{cases},$$

$$u_l = \begin{cases} \text{зупинити виробництво товару} & u_1 \\ \text{середньо зменшити виробництво товару} & u_2 \\ \text{слабо зменшити виробництво товару} & u_3 \\ \text{нічого не робити} & u_4 \\ \text{слабо збільшити виробництво товару} & u_5 \\ \text{помірно збільшити виробництво товару} & u_6 \\ \text{суттєво збільшити виробництво товару} & u_7 \end{cases}.$$

Для лінгвістичної змінної $u_l = \text{нічого не робити}$ (u_4) на виробництві означає: не змінювати обсяги виробництва, а виробляти ту

кількість товару, яку виробляли досі. Водночас для u_i = *зупинити виробництво товару* (u_4) навпаки, потрібно повністю припинити випуск заданого товару. Інші керуючі дії пропорційно зменшують (u_2, u_3) або збільшують (u_5, u_6, u_7) виробництво обсягів товару залежно від динаміки попиту та залишків товару на складі. У табл. 3 задамо функціональну залежність

$$u = F(v, w). \tag{31}$$

Таблиця 3

**ПОВНИЙ ПЕРЕБІР СПОЛУЧЕНЬ ТЕРМІВ
ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ $u = F(v, w)$**

v w	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
w_1	u_1	u_3	u_5	u_6	u_7
w_2	u_1	u_3	u_5	u_6	u_7
w_3	u_1	u_2	u_4	u_5	u_6
w_4	u_1	u_2	u_2	u_4	u_5
w_5	u_1	u_1	u_2	u_3	u_4

Групуючи рядки за типами керуючого впливу, отримаємо так звану нечітку базу знань (табл. 4).

Таблиця 4

НЕЧІТКА БАЗА ЗНАНЬ

ЯКЩО		ТО
Залишок	Попит	Керування
w_1	v_1	u_1
w_2	v_1	
w_3	v_1	
w_4	v_1	
w_5	v_1	
w_5	v_2	
w_3	v_2	u_2
w_4	v_2	
w_5	v_3	
w_1	v_2	u_3
w_2	v_2	

ЯКЩО		ТО
w_4	v_3	
w_5	v_4	
w_3	v_3	
w_4	v_4	u_4
w_5	v_5	
w_1	v_3	
w_2	v_3	u_5
w_3	v_4	
w_4	v_5	
w_1	v_4	
w_2	v_4	u_6
w_3	v_5	
w_1	v_5	u_7
w_2	v_5	

Нехай $\mu_i^1(w)$ функції належності змінної w до терму w_i , $\mu_i^2(v)$ функції належності змінної v до терму v_i , $\mu_i^3(u)$ функції належності змінної u до терму u_i .

Також нехай діапазони варіювання змінних u , v , w відповідно становлять $[u_{\min}, u_{\max}]$, $[v_{\min}, v_{\max}]$, $[w_{\min}, w_{\max}]$. Діапазони $[v_{\min}, v_{\max}]$, $[w_{\min}, w_{\max}]$, знаходяться на основі попередніх статистичних спостережень.

Найбільше поширення в теорії нечітких множин отримали функції вигляду [31]:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x - a_1}{a_0 - a_1}, & \text{для } a_1 \leq x \leq a_0 \\ \frac{x - a_2}{a_0 - a_2}, & \text{для } a_0 \leq x \leq a_2 \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases},$$

або за допомогою єдиного виразу —
 $\mu_A(x) = \max\left(\frac{x - a_1}{a_0 - a_1}, \frac{x - a_2}{a_0 - a_2}, 0\right)$. Ця функція досягає максимуму

(який дорівнює 1) у точці a_0 і дорівнює нулю за межами інтервалу (a_1, a_2) , де a_1, a_2, a_3 — параметри, зумовлені експертно чи шляхом настроювання.

Для побудови функцій належності розіб'ємо діапазони $[v_{\min}, v_{\max}]$, $[w_{\min}, w_{\max}]$ на $5 - 1 = 4$ рівних частини, а діапазон $[u_{\min}, u_{\max}]$ на $7 - 1 = 6$ рівних частин.

$$\text{Покладемо } \Delta w = \frac{w_{\max} - w_{\min}}{4}, \Delta v = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{4}, \Delta u = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{6}$$

Тоді, виходячи з логічних міркувань, можна запропонувати такі функції належності:

$$\mu_i^1(w) = \max\left(\frac{w - (i-2)\Delta w}{w_{\min} - (i-2)\Delta w}, \frac{w - i\Delta w}{w_{\min} - i\Delta w}, 0\right)$$

$$\mu_i^2(v) = \max\left(\frac{v - (i-2)\Delta v}{v_{\min} - (i-2)\Delta v}, \frac{v - i\Delta v}{v_{\min} - i\Delta v}, 0\right)$$

$$\mu_i^3(u) = \max\left(\frac{u - (i-2)\Delta u}{u_{\min} - (i-2)\Delta u}, \frac{u - i\Delta u}{u_{\min} - i\Delta u}, 0\right).$$

Графіки цих функцій показано на рис. 10 для $\mu_i^2(v)$.

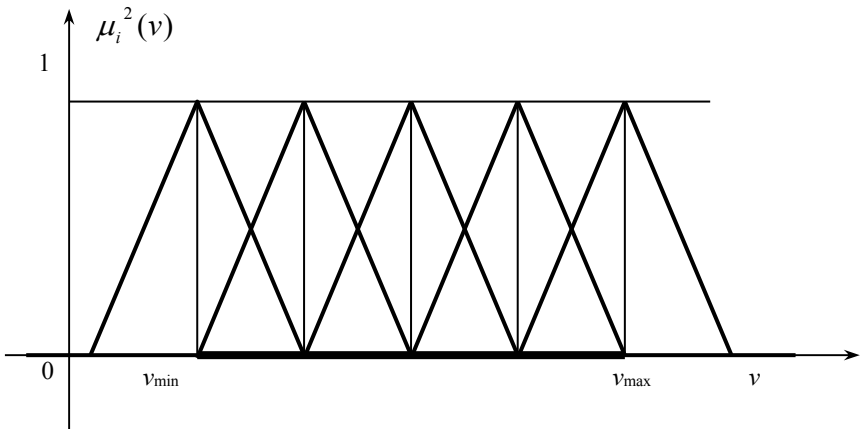


Рис. 10. Функції належності $\mu_i^2(v)$

За аналогією будуються функції належності для $\mu_i^1(w)$ і $\mu_i^3(u)$. Використовуючи методику, викладену в [32], можна перейти від нечіткої бази знань до інтегрованої функції належності. Дамо опис алгоритму її побудови.

Кожному u_i у нечіткій базі знань (табл. 4) очевидним чином ставиться у відповідність, сім'я пар $p_m = (w_j, v_k)$, де $m = \overline{1, l(i)}$ і на її основі будується сім'я функцій $z_{i,m}(w, v) = \min(\mu_j^1(w), \mu_k^2(v))$, $m = \overline{1, l(i)}$, і на її основі функція $\tilde{\mu}_m(w, v) = \max_m(z_{i,m}(w, v))$.

На основі сім'ї функцій $\tilde{\mu}_m(w, v)$ будується інтегрована функція належності за формулою $\mu(u) = \max_k(\max(\mu_k^3(u), \tilde{\mu}_k))$. У нашому випадку для значення u_1 в нечіткій базі знань (табл. 4):

$$z_{1,1}(w, v) = \min(\mu_1^1(w), \mu_1^2(v)) ,$$

$$z_{1,2}(w, v) = \min(\mu_2^1(w), \mu_1^2(v)) ,$$

$$z_{1,3}(w, v) = \min(\mu_3^1(w), \mu_1^2(v)) ,$$

$$z_{1,4}(w, v) = \min(\mu_4^1(w), \mu_1^2(v)) ,$$

$$z_{1,5}(w, v) = \min(\mu_5^1(w), \mu_1^2(v)) ,$$

$$z_{1,6}(w, v) = \min(\mu_5^1(w), \mu_2^2(v))$$

$$\text{отримаємо } \tilde{\mu}_1(w, v) = \max_{j=1,6}(z_{1,j}(w, v)) .$$

Для значення u_2

$$z_{2,1}(w, v) = \min(\mu_3^1(w), \mu_2^2(v)) ,$$

$$z_{2,2}(w, v) = \min(\mu_4^1(w), \mu_2^2(v)) ,$$

$$z_{2,3}(w, v) = \min(\mu_5^1(w), \mu_3^2(v))$$

$$\text{маємо } \tilde{\mu}_2(w, v) = \max_{j=1,3}(z_{2,j}(w, v)) .$$

Для u_3

$$z_{3,1}(w, v) = \min(\mu_1^1(w), \mu_2^2(v)) ,$$

$$z_{3,2}(w, v) = \min(\mu_2^1(w), \mu_2^2(v)) ,$$

$$z_{3,3}(w, v) = \min(\mu_4^1(w), \mu_3^2(v)) ,$$

$$z_{3,4}(w, v) = \min(\mu_5^1(w), \mu_4^2(v))$$

маємо $\tilde{\mu}_3(w, v) = \max_{j=1,4}(z_{3,j}(w, v))$.

Для u_4

$$z_{4,1}(w, v) = \min(\mu_3^1(w), \mu_3^2(v)) ,$$

$$z_{4,2}(w, v) = \min(\mu_4^1(w), \mu_4^2(v)) ,$$

$$z_{4,3}(w, v) = \min(\mu_5^1(w), \mu_5^2(v))$$

отримаємо $\tilde{\mu}_4(w, v) = \max_{j=1,3}(z_{4,j}(w, v))$.

Для u_5

$$z_{5,1}(w, v) = \min(\mu_1^1(w), \mu_3^2(v)) ,$$

$$z_{5,2}(w, v) = \min(\mu_2^1(w), \mu_3^2(v)) ,$$

$$z_{5,3}(w, v) = \min(\mu_3^1(w), \mu_4^2(v)) ,$$

$$z_{5,4}(w, v) = \min(\mu_4^1(w), \mu_5^2(v))$$

будемо мати $\tilde{\mu}_5(w, v) = \max_{j=1,4}(z_{5,j}(w, v))$.

Для u_6

$$z_{6,1}(w, v) = \min(\mu_1^1(w), \mu_4^2(v)) ,$$

$$z_{6,2}(w, v) = \min(\mu_2^1(w), \mu_4^2(v)) ,$$

$$z_{6,3}(w, v) = \min(\mu_3^1(w), \mu_5^2(v))$$

отримаємо $\tilde{\mu}_6(w, v) = \max_{j=1,3}(z_{6,j}(w, v))$ і для остаточного значення u_7

$$z_{7,1}(w, v) = \min(\mu_1^1(w), \mu_5^2(v))$$

$$z_{7,2}(w, v) = \min(\mu_2^1(w), \mu_5^2(v))$$

маємо $\tilde{\mu}_7(w, v) = \max_{j=1,2}(z_{7,j}(w, v))$.

Співвідношення для обчислення $\tilde{\mu}_k = \tilde{\mu}_k(w, v)$ через функції $\mu_i^1(w)$ і $\mu_i^2(v)$ будуть логічними рівняннями, які відповідають нечіткій базі знань.

Для інтегрованої функції належності $\mu(u) = \max_k(\max(\tilde{\mu}_k^3(u) \tilde{\mu}_k))$

алгоритм прийняття рішень полягає у такому:

Крок 1. Зафіксувати значення $w(t)$ та $v(t)$ для моменту часу $t = t_0$;

Крок 2. За допомогою функцій належності $\mu_i^1(w)$ і $\mu_i^2(v)$ визначити ступінь належності $w(t)$ та $v(t)$ до відповідних термів;

Крок 3. За допомогою нечітких логічних рівнянь визначити ступінь належності керуючого впливу до кожного з можливих термів;

Крок 4. Управляючим впливом $u(t_0)$, потрібно вважати терм з максимальної функції належності, що отримано в кроці 3. Для визначення кількісного значення $u(t_0)$, необхідно виконати операцію «дефазифікації», тобто переходу від нечіткого терму до чіткого числа.

Чітка керуюча дія отримується шляхом дефазифікації функції $\mu(u)$.

Одним з можливих шляхів дефазифікації є метод «центру ваги» [33], який полягає в обчисленні координати u центру ваги фігури, яка обмежена графіком функції $\mu(u)$ та віссю абсцис.

Розглянемо тепер проблему визначення інтервалу $[u_{\min}, u_{\max}]$ залежності (31).

За класичного підходу до ідентифікації виробничої функції на основі якісних економічних міркувань робиться гіпотеза про вигляд виробничої функції (27) і на основі експериментальних даних $y_i = f(\bar{x}_i, \bar{a})$, $i = \overline{1, n}$ за допомогою методу найменших квадратів знаходять наближене значення $\bar{a}$. Тобто цей момент вважатимемо «фіксованим» керуванням.

При запропонованому підході визначаємо вже «межі керування», виходячи з деяких спостережень. Введемо також у систему керування виробничим процесом невизначеність ресурсів $\bar{x}$.

Для визначення меж керування перетворимо фіксоване керування $\bar{a}$ в дискретний набір $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_k$, розбивши статистичні дані на k груп

$$(\bar{V}_1, \bar{W}_1, X_1, \bar{Y}_1), (\bar{V}_2, \bar{W}_2, X_2, \bar{Y}_2), \dots, (\bar{V}_k, \bar{W}_k, X_k, \bar{Y}_k),$$

$$\text{де } X_j = \left\{ \begin{array}{c} \bar{x}_1^j \\ \bar{x}_2^j \\ \vdots \\ \bar{x}_{m_j}^j \end{array} \right\} \text{ називатимемо матрицями ресурсів.}$$

Також вважаємо, що $\bar{V}_j, \bar{W}_j$ — це середній попит і середній залишок, які відповідають статистичним даним $(X_k, \bar{Y}_k)$.

Розглянувши k систем, отримаємо

$$\left. \begin{aligned} \bar{Y}_1 &= F^*(X_1, \bar{a}_1) \\ \bar{Y}_2 &= F^*(X_2, \bar{a}_2) \\ &\vdots \\ \bar{Y}_k &= F^*(X_k, \bar{a}_k) \end{aligned} \right\}, \quad (32)$$

$$\text{де } F^*(X_j, \bar{a}_j) = \begin{pmatrix} f(\bar{x}_1^j, \bar{a}_j) \\ f(\bar{x}_2^j, \bar{a}_j) \\ \vdots \\ f(\bar{x}_{m_j}^j, \bar{a}_j) \end{pmatrix} \text{ — } j \text{ група статистичних даних } \bar{Y}_j \text{ за-}$$

лежності (30) для визначення $\bar{a}_j$ в дискретному наборі $\bar{a} = \bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_j, \dots, \bar{a}_k$.

У виразі (32) проміжок часу $[t_{\text{поч}}, t_{\text{кін}}] = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, на якому проводиться спостереження за динамікою $y(t)$ та $x(t)$, розбивається на k груп $\{\{t_1, t_2, \dots, t_{m_1}\}, \{t_{m_1+1}, t_{m_1+2}, \dots, t_{m_2}\}, \dots, \{t_{m_k+1}, t_{m_k+2}, \dots, t_{m_k}\}\}$, де $t_{m_k} = t_n$. Тоді керуючий вплив $\bar{u}(v_j, w_j) = \bar{a}_j$, $j = \overline{1, k}$. Якщо $\bar{a}_j = \{a_{1,j}, a_{2,j}, \dots, a_{s,j}\}$ і $a_i^{\min} = \min_j a_{i,j}$, $a_i^{\max} = \max_j a_{i,j}$, то вектори $\bar{a}^{\min} = \{a_1^{\min}, a_2^{\min}, \dots, a_s^{\min}\}$ і $\bar{a}^{\max} = \{a_1^{\max}, a_2^{\max}, \dots, a_s^{\max}\}$ матимуть необхідну інформацію для побудови алгоритму нечітко-множинного керування.

При побудові алгоритму нечітко-множинного керування слід пам'ятати, що він ґрунтується на статистичній інформації — $S_1 = \{\bar{V}_1, \bar{W}_1, X_1, \bar{Y}_1\}$ про попит $\bar{V}_1$, залишки — $\bar{W}_1$, матриці ресурсів — $X_1 = \bar{x}_1^1, \bar{x}_2^1, \dots, \bar{x}_{m_1}^1$ та кількості готової продукції — $\bar{Y}_1$ на деякому інтервалі часу $[T_1, T_2]$. Тому після побудови алгоритму та його практичного використання впродовж часу, який дорівнює $T = T_2 - T_1$, треба збирати нову статистичну інформацію $S_2 = \{\bar{V}_2, \bar{W}_2, X_2, \bar{Y}_2\}$ про попит, залишки, ресурси та кількість готової продукції та порівнювати її із статистичною інформацією S_1 .

Для порівняння статистичних даних $S_2 \leftrightarrow S_1$ введемо спеціальний індикатор різниці двох векторів дискретних випадкових величин та їх відповідних сукупностей.

Нехай $\vec{\beta} = \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ — вектор дискретних випадкових величин, а $M(\vec{\beta})$, $D(\vec{\beta})$, $A(\vec{\beta})$, $E(\vec{\beta})$ — відповідно, математичне сподівання, дисперсія, асиметрія та ексцес $\vec{\beta}$ випадкових величин.

Для $\vec{\beta}_1$ і $\vec{\beta}_2$ покладемо:

$$\begin{aligned}\vec{r}(\vec{\beta}_1) &= (M(\vec{\beta}_1), D(\vec{\beta}_1), A(\vec{\beta}_1), E(\vec{\beta}_1)), \\ \vec{r}(\vec{\beta}_2) &= (M(\vec{\beta}_2), D(\vec{\beta}_2), A(\vec{\beta}_2), E(\vec{\beta}_2)).\end{aligned}$$

Векторним індикатором різниці $\vec{\beta}_1$ і $\vec{\beta}_2$ називатимемо двомірний вектор:

$$\vec{\eta}(\vec{\beta}_1, \vec{\beta}_2) = \begin{pmatrix} \|\vec{r}(\vec{\beta}_1) - \vec{r}(\vec{\beta}_2)\| \\ 1 - \frac{\langle \vec{r}(\vec{\beta}_1), \vec{r}(\vec{\beta}_2) \rangle}{|\vec{r}(\vec{\beta}_1)| \cdot |\vec{r}(\vec{\beta}_2)|} \end{pmatrix}.$$

Введений вектор $\vec{\eta}(\vec{\beta}_1, \vec{\beta}_2)$ дає змогу визначити, чи є «близькими» вектори $\vec{r}(\vec{\beta}_1)$ і $\vec{r}(\vec{\beta}_2)$. Перша компонента двомірного вектора $\vec{\eta}(\vec{\beta}_1, \vec{\beta}_2)$ показує близькість модулів векторів $\vec{r}(\vec{\beta}_1)$ і $\vec{r}(\vec{\beta}_2)$, а друга — дорівнює $1 - \cos(\vec{\beta}_1, \vec{\beta}_2)$, і якщо вона прямує до нуля, то кут між векторами $\vec{\beta}_1$ і $\vec{\beta}_2$ також прямує до нуля, де $\langle \vec{r}(\vec{\beta}_1), \vec{r}(\vec{\beta}_2) \rangle$ — скалярний добуток векторів. Таким чином, якщо обидві компоненти вектора $\vec{\eta}(\vec{\beta}_1, \vec{\beta}_2)$ менше деяких критичних значень (δ_r, δ_ϕ) , то вектори $\vec{r}(\vec{\beta}_1)$ і $\vec{r}(\vec{\beta}_2)$ можна вважати близькими, а отже, тоді є близькими і $\vec{\beta}_1$ з $\vec{\beta}_2$.

Введемо тепер реальні значення векторів $\vec{\beta}_1$ і $\vec{\beta}_2$

$$\begin{aligned}\vec{\beta}_1 &= (\vec{V}_1, \vec{W}_1, X_1, \vec{Y}_1), \\ \vec{\beta}_2 &= (\vec{V}_2, \vec{W}_2, X_2, \vec{Y}_2),\end{aligned}\tag{33}$$

а δ_1 і δ_2 — деякі критичні величини компонентів вектора, які визначаються з експертних міркувань.

$$\bar{\eta}(\vec{\beta}_1, \vec{\beta}_2) \leq \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{pmatrix}. \tag{34}$$

Тоді вектори $\vec{\beta}_1$ і $\vec{\beta}_2$ вважатимемо «близькими» за виконання умови (34) і «неблизькими» — у протилежному разі. Якщо $\vec{\beta}_1$ і $\vec{\beta}_2$ «неблизькі», то треба замінити старий алгоритм нечітко-множинного керування, який ґрунтується на статистичній інформації S_1 , на новий, який заснований на статистичній інформації S_2 .

На рис. 11 показано алгоритм нечітко-множинного керування ЕО.

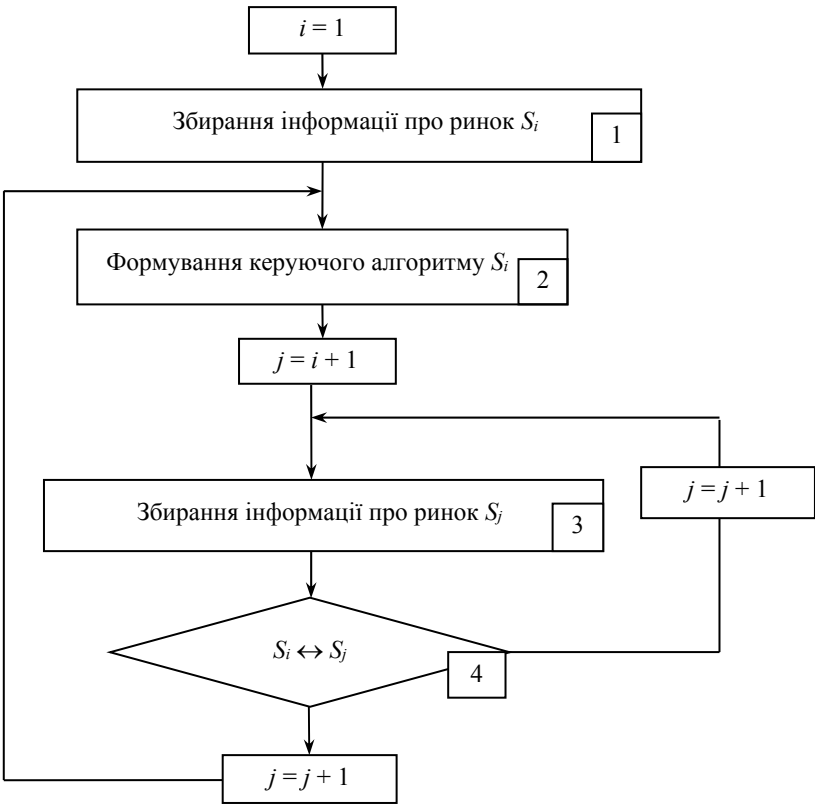


Рис. 11. Алгоритм нечітко-множинного керування ЕО

Роботу алгоритму нечітко-множинного керування ЕО можна пояснити наведеними нижче операціями.

Блок 1. ЕО накопичує статистичну інформацію про попит $\vec{V}$, залишки $\vec{W}$, ресурси X та кількість готової продукції $\vec{Y}$ на деякому інтервалі часу T_1 ($S_1 = (\vec{V}_1, \vec{W}_1, X_1, \vec{Y}_1)$).

Блок 2. Побудова алгоритму керування та формування керуючого впливу $\vec{u}(v, w) = \vec{a}$ та його практичного використання $y = f(\vec{x}, \vec{a})$.

Блок 3. Упродовж часу, який дорівнює $T = T_2 - T_1$, треба збирати нову статистичну інформацію $S_2 = \{\vec{V}_2, \vec{W}_2, X_2, \vec{Y}_2\}$ про попит, залишки, ресурси та кількість готової продукції. Цей блок ідентично збігається з блоком 1.

Блок 4. Нова статистична інформація S_2 порівнюється з попередньою інформацією S_1 . При цьому проводиться перевірка нерівності (34), і якщо вона не виконується, тобто S_2 різко відрізняється від S_1 , то здійснюється перехід до блоку 2. В іншому випадку, продовжується збирання нової інформації в блоці 3, і керуючі дії алгоритму не змінюються.

Алгоритм нечітко-множинного керування ЕО дає змогу сформувати керуючі дії виробничої функції $y = f(\vec{x}, \vec{a})$ з урахуванням невизначеностей попиту, залишків продукції та врахувати невизначеності ресурсів.

4.3. Інформаційна система забезпечення індикативного планування

Для ефективного вирішення завдань управління та впровадження стратегічних заходів на підприємствах ВВС, необхідно чітко визначати зміни величин індикаторів діяльності підприємств, а також оперативно реагувати на ці зміни та випереджати настання критичних ситуацій. При спостереженні негативної динаміки економічних індикаторів центр управління ВВС змушений приймати рішення з метою встановлення причин такої тенденції та визначення шляхів уникнення несприятливої економічної ситуації [40].

Інформаційно-аналітична підтримка основних етапів стратегічного планування реалізується на основі ітераційних процедур за активної участі експертів, які взаємодіють з аналітичними системами різного призначення. На рис. 12 показано технологію процесу стратегічного планування.

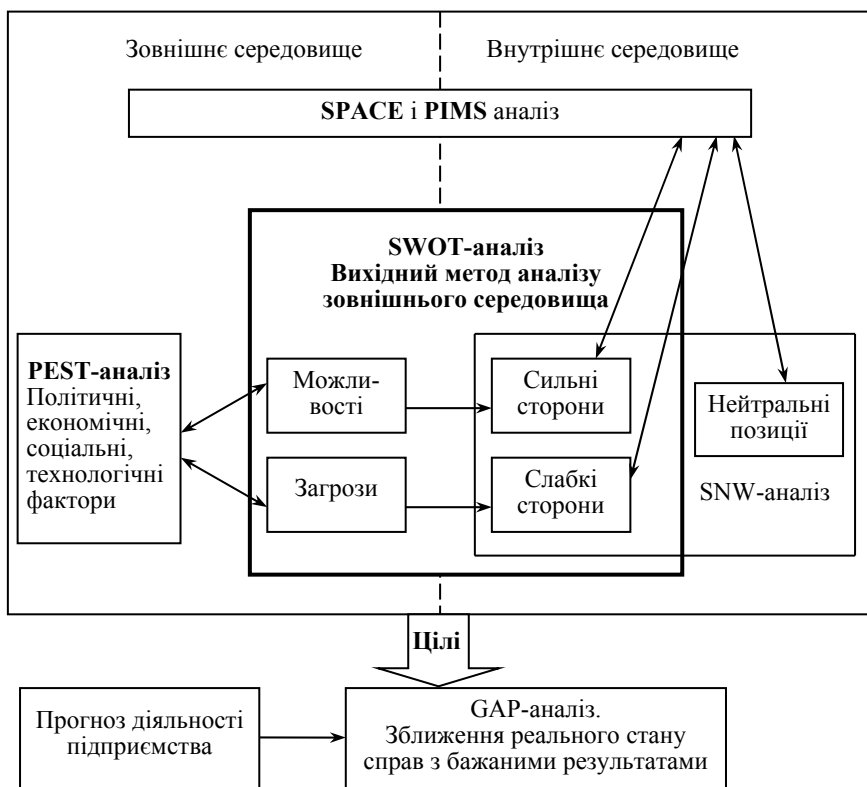


Рис. 13. Схема стратегічного аналізу внутрішнього та зовнішнього середовища ВВС

Знайдені на етапі аналізу закономірності в базі даних і системні знання, що завантажуються в базу знань СППР, використовуються для подальшого формування базової моделі стратегічного розвитку. На основі описаних вище методологічних і програмно-технологічних принципів можна розробити структуру програмно-інструментального комплексу підтримки стратегічного планування ВВС.

Інформація надходить у систему зі сховища даних, транзакційних облікових систем, спеціалізованих баз даних інформаційних агентств, даних державної служби статистики. За допомогою засобів фільтрування, перетворення та завантаження даних інформація потрапляє у сховище даних, у якому міститься система показників і єдина нормативно-довідкова інформація (рис. 14).

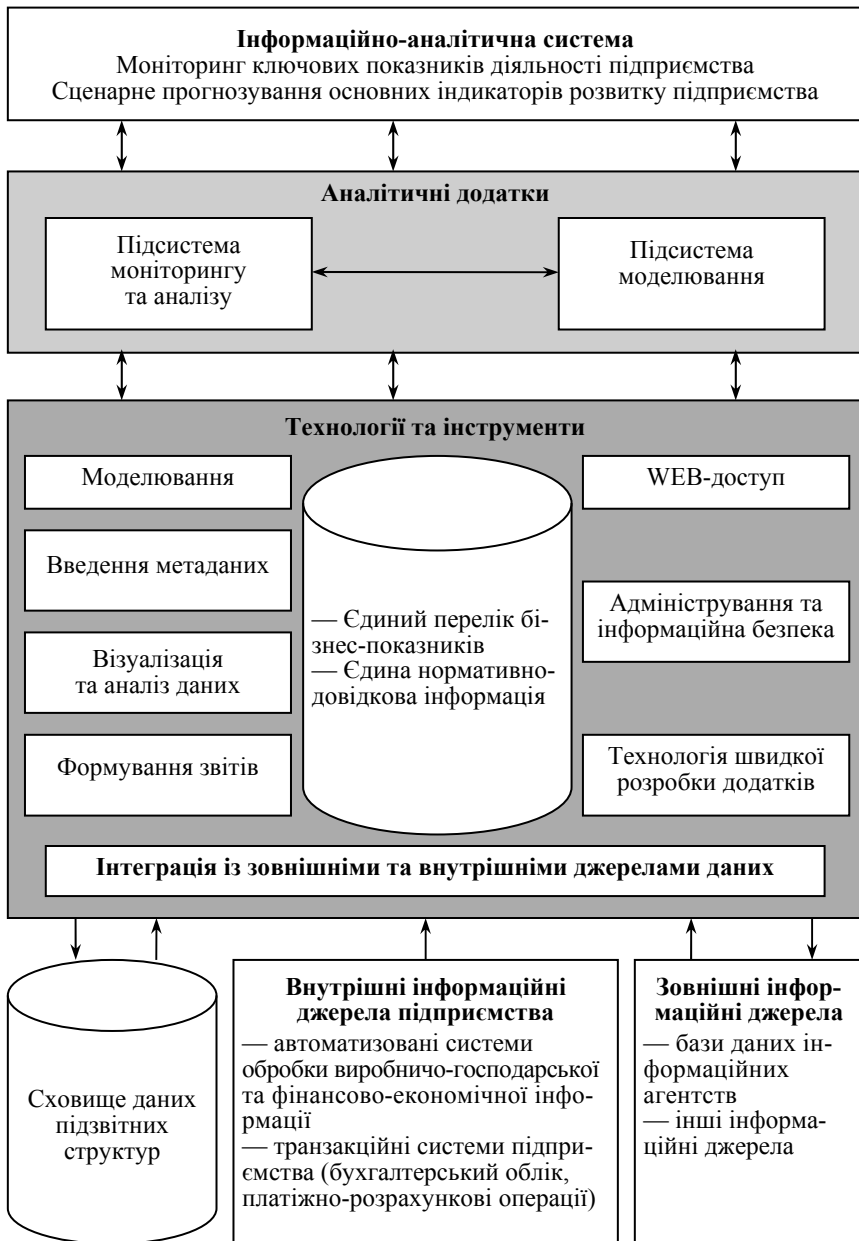


Рис. 14. Архітектура інформаційної системи підприємства

Основним джерелом наповнення сховища даних є облікові системи, що функціонують на підприємстві.

Отже, відстеження динаміки важливих економічних індикаторів в оперативному режимі дає можливість менеджменту прийняти правильне управлінське рішення за існуючого фінансово-економічного стану підприємства й прогнозувати його подальший розвиток з урахуванням тенденцій змін значень індикаторів. Реалізацію стратегічного плану на підприємстві забезпечують процеси моніторингу, аналізу й контролю бажаних значень системи індикаторів економічної діяльності [35].

Планування, поряд з проектуванням, управлінням і діагностуванням, є найважливішим і водночас найскладнішим процесом діяльності підприємства. Процес планування основного виробництва може бути зведений до вирішення оптимізаційної задачі. Існує безліч оптимізаційних математичних моделей, однак використання їх при розробленні індикативних планів є доволі складним [36].

Особливо це стосується стратегічного планування, у процесі якого виникає необхідність оперативного коригування моделей з урахуванням інформації зворотного зв'язку. Удосконалення системи індикативного планування, підвищення його ефективності та дієвості пов'язано з переходом на нову інформаційну технологію та створенням на її основі якісно нових систем, що ґрунтуються на знаннях [36, 37].

Розглянемо загальну структуру експертної системи прийняття рішень для індикативного планування ВВС (рис. 15).

На верхньому рівні деталізації система розкладається на окремі підсистеми, кожна з яких є декомпозицією своїх функціональних компонент.

Структурна модель експертної системи є сукупністю підсистем пошуку, оброблення, збереження та виведення інформації.

Підсистема пошуку інформації отримує дані про інформаційний простір підприємства, утворюючи інформаційний профіль, на основі якого формується опис вхідних потоків інформації. При заданому критерії якості функціонування експертної системи й системи обмежень у процесі індикативного планування вирішується задача оптимізації комплектування інформаційного масиву, що визначає алгоритм або оператор, який здійснює перетворення вхідних потоків у інформаційний масив. До підсистеми надходять дані про ресурси підприємства та можливі загрози [37].



Рис. 15. Структура експертної системи в індикативному плануванні

У підсистемі оброблення інформації здійснюється оцінювання важливості фізичних ресурсів підприємства, виходячи з потреб планування на основі значень введених користувачем індикаторів, і формуються необхідні вимоги до їх захищеності відповідно до введених категорій інформаційних ресурсів.

Підсистема збереження інформації складається з бази даних і бази знань, які містять сукупність даних про ресурси підприємств, методи та засоби індикативного планування, правила, критерії зіставлення та виведення, спеціалізоване математичне забезпечення для управління базами даних і базами знань, інформаційні

мови для опису та маніпуляції даними, довідкові й службові дані, які необхідні для нормального функціонування бази даних і бази знань.

Архітектуру експертної системи в індикативному плануванні на підприємстві зображено на рис. 16.

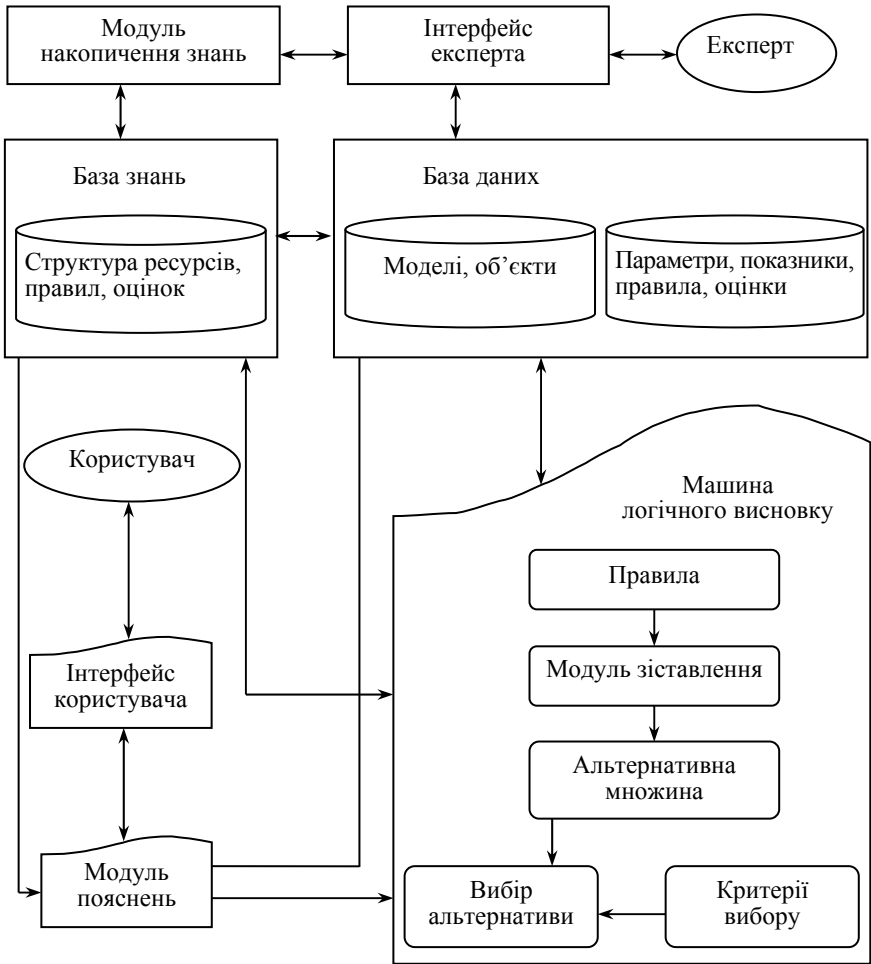


Рис. 16. Архітектура експертної системи для індикативного планування

База знань призначена для збереження експертних знань про предметну область, що використовуються при вирішенні планових

завдань. База знань складається з правил продукції. Правила використовуються в базі знань для опису відношень між об'єктами та подіями. В умовах і висновках правил присутні посилання на фрейми й слоти. База знань експертної системи представлена у вигляді продукційних правил на зразок «якщо-то».

База знань правил містить сукупність знань про ресурси підприємства, можливі ризики; методи й засоби індикативного планування; методи оцінювання фінансово-економічного та виробничо-господарського стану підприємства; ключові індикатори, необхідні для визначення стратегічного плану; спеціалізоване математичне забезпечення для управління базою знань; інформаційну мову для опису й маніпулювання даними; довідкові та службові дані, які необхідні для ефективного функціонування [38, 39].

База даних предметної області призначена для тимчасового збереження фактів або гіпотез, які є проміжними рішеннями або результатом спілкування системи із зовнішнім середовищем, яким є особа, яка веде діалог з експертною системою [38, 44].

Машина логічного висновку — механізм міркувань, що оперує знаннями та даними з метою отримання нових даних зі знань. Для цього використовується програмно реалізований механізм дедуктивного логічного висновку або механізм пошуку рішення. Машина логічного висновку реалізує судження у вигляді дедуктивного висновку (прямого, зворотного, змішаного), ймовірного висновку, пошуку рішення з розбиванням на послідовність задач, пошуку рішення з використанням стратегії розбиття простору пошуку з урахуванням рівнів абстрагування, монотонного або немонотонного судження, судження з використанням механізму аргументації.

Пряме використання знань з бази для вирішення задач забезпечується машиною логічного висновку, яка надає можливість обирати з бази знань відповіді на запитання, отримувати рішення, що сформульовані в термінах понять, збережених у базі. В експертній системі використовується зворотний ланцюжок. У висновок може бути задіяна довільна кількість правил. При підтримці одного правила множиною висновків застосовуються правила комбінування коефіцієнтів визначеності. Розроблення процедур логічного висновку неформалізованої задачі може здійснюватися з використанням процедурних моделей.

Машина логічного висновку містить такі модулі: модуль зіставлення, модуль правил, модуль альтернативної множини, модуль вибору альтернативи, модуль критеріїв вибору. У пам'ять надходять вхідні дані, які у модулі зіставлення порівнюються з

наявними знаннями за правилами. У результаті цього формується множина альтернативних рішень, з якої обираються найоптимальніші за даними критеріями.

Інтерфейс користувача призначений для ведення діалогу з користувачем, під час якого користувач надає експертній системі необхідні факти для процесу судження та дає змогу певною мірою контролювати й коригувати перебіг суджень. Інтерфейс виконує такі функції: реєструє користувача, формує запитання та відображає їх на екрані, відображає повідомлення, що підтримують діалог для уточнення й продовження роботи з користувачем, здійснює загальне протоколювання дослідження, координує роботу всієї експертної системи.

Модуль пояснень необхідний для того, щоб дати можливість користувачу контролювати перебіг судження експертної системи.

Модуль накопичення знань слугує для коригування та наповнення бази знань, яка є її інтелектуальним редактором. Інтелектуальний редактор дає можливість створювати, змінювати й видаляти об'єкти бази знань, описувати поняття предметної області, їх властивості, структуру й залежності, створювати обчислювальні та логічні процедури, вхідними й вихідними параметрами яких є значення властивостей об'єктів бази знань, генерувати гіпотези про властивості об'єктів бази знань і зв'язки між ними, забезпечувати підтримку цілісності бази знань і розглядати її стан, за якого якісь об'єкти відсутні або мають неописані властивості.

Усі базові функції системи поділені на чотири групи: підготовка вихідних даних, визначення умови багатокритеріального оцінювання, багатокритеріальне оцінювання об'єктів і надання звітності. Дослідження містить два етапи: підготовчий і виконавчий. Система, яка їх відображає, має таку структуру: підготовчий етап здійснюється шляхом знаходження значення з допустимої множини. У якості методів ранжування і вибору прийнято методи бальної оцінки, умовної оптимізації, пошуку допустимої множини з оцінкою. Експертиза значимості ознак здійснюється методом індивідуального оцінювання важливості критеріїв методами визначення важливості в частках від найважливішого критерію або групової оцінки важливості критеріїв [43].

Оцінювання об'єктів предметної області здійснюється завантаженням, переглядом і збереженням бази даних, а також змінами налаштувань ознак. У базу знань включають засоби, що дають змогу виконувати оцінювання об'єктів, аналіз результатів цього оцінювання, зіставлення рейтингів об'єктів, виведення та збереження результатів. За способом взаємодії з користувачем експерт-

на система для індикативного планування є діалоговою системою, яка формує відповіді на запити користувача (рис. 17, 18).

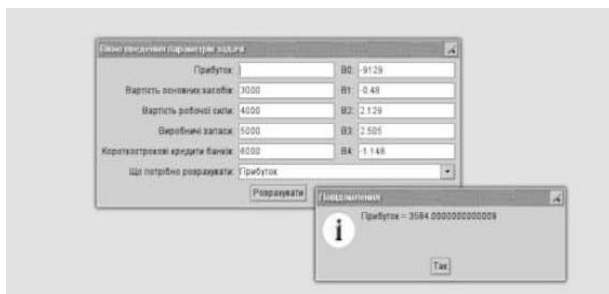


Рис. 17. Діалогове вікно експертної системи «Визначення прибутку BBC»



Рис. 18. Діалогове вікно експертної системи «Визначення виробничих запасів BBC»

Програмна реалізація експертної системи підтримки індикативного планування виконана на мові GNU Prolog 1.4.0 [42, 41].

Література

1. Інноваційна модель розвитку як ключовий чинник забезпечення конкурентоспроможності національної економіки // Інноваційна модель розвитку економіки України: пріоритети та шляхи реалізації: Матеріали «круглого стола», 23 листопада 2005 р. — Нац. ін-т стратег. досл. — Режим доступу http://www.niss.gov.ua/Table/Jalilo_m/001.htm#a1.

2. Гесць В. М. Інноваційні перспективи України / В. М. Гесць, В. П. Семиноженко. — Харків: Константа, 2006. — 272 с.

3. Прогноз можливих варіантів соціально-економічного розвитку України на найближчі роки та впливу на нього інноваційних факторів // Прогнозування макроекономічних показників соціально-економічного розвитку, демографії та людського потенціалу: Матеріали тематичн. напрямку; кер. напрямку Геєць В. М. — Режим доступу http://www.foresight.nas.gov.ua/DocLib1/_03_socio-economic_prognosis.htm.

4. Козаченко А. В., Воронова А. Э. Корпоративное управление. — К.: Либра, 2004. — 368 с.

5. Кравченко В. Ф., Кравченко Е. Ф., Забелин П. В. Организационный инжиниринг. — М.: Изд-во ПРИОР, 1999. — 256 с.

6. Ансофф И. Х. Стратегическое управление. — М.: Экономика, 1989. — 297 с.

7. Конкурентоспроможність економіки України в умовах глобалізації : Монографія / За ред. Я. А. Жаліла. — К.: НІСД, 2005. — 388 с.

8. Устенко С. В. Створення національного науково-виробничого об'єднання в умовах трансформаційної економіки / В. К. Галіцин, Л. А. Букреева, С. В. Устенко // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — 2006. — Вип. 73. — С. 21–33.

9. Зінов'єва І. С. Інтеграція виробничо-промислових систем як шлях підвищення конкурентоспроможності господарюючих суб'єктів / І. С. Зінов'єва, С. В. Устенко // Формування ринкових відносин в Україні: Зб. наук. праць. — 2008. — № 7–8. — С. 57–64.

10. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов. — М.: Наука, 1976. — 392 с.

11. Устенко С. В. Модель функціонування інтеграційної виробничої системи // Моделювання та інформаційні системи в економіці: Зб. наук. праць. — Вип. 75 / Відп. ред. В. К. Галіцин. — К.: КНЕУ, 2007. — С. 160–180.

12. Колемаев В. А. Математическая экономика: Учебник для вузов. — М.: ЮНИТИ, 1998. — 240 с.

13. Ашманов С. А. Введение в математическую экономику. — М.: Наука, 1984. — 198 с.

14. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория / Пер. с англ. Г. И. Жуковой, Ф. Я. Кельмана. — М.: Айрис-пресс, 2002. — 576 с.

15. Тихомиров В. М. Принцип Лагранжа и задачи оптимального управления. — М.: Изд. Моск. ун-та, 1982. — 107 с.

16. Тихомиров В. М., Иоффе А. Д. Теория экстремальных задач. — М.: Наука, 1974. — 479 с.

17. Гетман О. О., Шаповал В. М. Економічна діагностика: Навч. посібник для студ. вищ. навч. закладів. — К.: ЦУЛ, 2007. — 307 с.

18. Колобов А. А. Менеджмент высоких технологий. Интегрировано-корпоративные структуры: организация, экономика, управление, проектирование, эффективность, устойчивость / А. А. Колобов, А. И. Орлов, И. Н. Омельченко. — М.: Изд-во Экзамен, 2008. — 621 с.
19. Матвійчук А. В. Моделювання економічних процесів із застосуванням методів нечіткої логіки: Монографія / А. В. Матвійчук. — К.: КНЕУ, 2007. — 264 с.
20. Ольховська О. Л. Моделювання фінансового стану страхової компанії / автореф. ... канд. екон. наук: 08.00.11 / О.Л. Ольховська. — К., 2011. — 20 с.
21. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение в принятии приближенных решений / Л. Заде. — М.: Мир, 1976. — 165 с.
22. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 736 с.
23. Ковальчук К. Ф. Интеллектуальная поддержка принятия экономических решений / Ковальчук К.Ф. — Донецк: ИЭП НАН Украины, 1996. — 224 с.
24. Глушков В. М. Кибернетика и ее применение в народном хозяйстве / Глушков В. М. — К.: Наукова думка, 1990. — Т. 3. — 357 с.
25. Глушков В. М. Основные принципы построения автоматизированных систем организационного управления / Глушков В. М. // Управляющие машины и системы. — 1972. — № 1. — С. 9–18.
26. Математичні моделі та інформаційні технології в сучасній економіці / [Клебанова Т. С., Гур'янова Л. С., Богоніколос Н. та ін.]; за ред. Єпіфанова А. О. — Суми: УАБС НБУ, 2007. — 246 с.
27. Константинова А. В. Реструктуризація як ефективний засіб виведення підприємства з кризового стану / А. В. Константинова // Формування ринкових відносин в Україні. — 2002. — Вип. 16. — С. 117–119.
28. Лавинский Г. В. Построение и функционирование сложных систем управления / Лавинский Г. В. — К.: Вища школа, 1989. — 332 с.
29. Галіцин В. К. Системи моніторингу / Галіцин В. К. — К.: КНЕУ, 2000. — 231 с.
30. Кігель В. Р. Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці / Кігель В. Р. — К.: ЦУЛ, 2003. — 202 с.
31. Мокін Б. І. Управління запасами на основі нечіткої логіки / Б. І. Мокін, О. П. Ротштейн, І. Ф. Острий // Вісник ВПІ. — 2002. — № 6. — С. 12–19.
32. Ротштейн А. П. Медицинская диагностика на нечеткой логике / Ротштейн А. П. — Винница: Контингент-Прим, 1996. — 132 с.

33. *Козловський С. В.* Прогнозування валютного курсу в Україні на базі нечіткої логіки / С. В. Козловський // Вісник ВПІ. — 2002. — № 3. — С. 39–49.
34. *Бажин И. И.* Информационные системы менеджмента / И. И. Бажин. — М. : ГУ ВШЭ, 2000. — 688 с.
35. *Брігхем Е. Ф.* Основи фінансового менеджменту / Е. Ф. Брігхем. — К., 1997. — 987 с.
36. *Владимирова Л. П.* Прогнозирование и планирование в условиях рынка / Л. П. Владимирова. — М. : Изд. дом «Дашков и Ко», 2000. — 308 с.
37. *Андрейчиков А. В.* Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. — М.: ФиС, 2001. — 368 с.
38. *Джексон П.* Введение в экспертные системы / П. Джексон. — М.: Вильямс, 2001. — 624 с.
39. Индикативное планирование как основа стратегического развития промышленного предприятия: Монография / С. А. Агапцов, А. И. Мордвинцев, П. А. Фомин, Л. С. Шаховская. — М.: Высш. шк., 2002.
40. *Петрова М. Н.* Индикативное планирование: вопросы теории и методологии / М. Н. Петрова. — Казань, 2000. — 356 с.
41. *Холл М.* Программирование для Web. Библиотека для профессионалов. — М.: Вильямс, 2002 — 1216 с.
42. *Швендимен Б.* РНР 4. Руководство разработчика / Блейк Швендимен. — М.: Вильямс, 2002 — 684 с.
43. *Кини Р. Л.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Л. Кини, Х. Райфа. — М.: Наука, 1981. — 560 с.
44. *Конноли Т.* Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика : учебное пособие / Т. Конноли, К. Бегг, А. Страчан. — М.: Издат. дом «Вильямс». — 2000. — 1120 с.
45. *Галіцин В. К., Устенко С. В.* Розвиток наукомістких підприємств України: моделі та методи // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — 2010. — Вип. 81. — С. 102–133.
46. *Устенко С. В.* Моделювання процесів функціонування та розвитку наукомістких виробничих систем. — Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук за спеціальністю 08.00.11 — Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці. ДВНЗ „Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана”. — К., 2008.

**Іванченко Г. Ф., к.т.н., проф.,
Бадер Омар Ахмад Далайін, к.е.н.**

СИНТЕЗ СИСТЕМИ ЕВОЛЮЦІЙНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СИНЕРГЕТИЧНОГО ЕФЕКТУ ЗЛИТТЯ ТА ПОГЛИНАННЯ ПІДПРИЄМСТВ

Нині в економічній науці активно розвивається еволюційна економічна теорія. Це зумовлено тим, що ортодоксальні методологічні підходи вже не можуть адекватно й вичерпно пояснити й прогнозувати явища соціального буття. В Україні цей процес за часом корелює з інтенсифікацією досліджень у сфері інформаційних технологій (ІТ), а в галузі економічної політики ці тенденції пов'язані з необхідністю модернізації соціально-економічної системи України в нестабільному економічному середовищі.

Теоретичні основи роботи становлять праці вітчизняних і зарубіжних авторів з проблем еволюційної економічної теорії щодо здійснення процесів злиття та поглинання (М&А). З-поміж фундаторів теорії особливо вирізняються такі дослідники: А. Алчіян, Т. Веблен, Т. Мальтус, Р. Нельсон, М. Нішібе, Д. Поттс, Г. Саймон, Л. Самуельсон, А. Сміт, Дж. Сильверберг, С. Уінтер, Д. Ходжсон, Й. Шумпетер.

Розвиток математичних аспектів цих досліджень знаходимо в працях В. О. Бабенко, А. Д. Базикіна, А. А. Вітта, В. В. Вітлінського, В. Вольтера, Г. Ф. Гаузе, В. М. Гейця, І. А. Джалладової, Т. С. Клебанової, А. М. Колмогорова, К. Ю. Кононової, Е. М. Лібанової, А. Д. Лоткі, А. В. Матвійчука, І. Г. Манцурова, Т. В. Меркулової, М. В. Негрей, О. П. Суслова, С. В. Устенка та ін.

Еволюційна економічна теорія дала змогу пов'язати процеси в економіці з біофізікою. Це, зокрема, класична модель математичної біофізики, що описує динаміку чисельності популяцій, які взаємодіють за принципом «хижак–жертва»; трофічний ланцюг міжпопуляційних відносин для отримання ресурсів (сировини, енергії, фінансових, трудових, інформаційних тощо), що реалізується шляхом М&А одних підприємств іншими. Популяції — це множини представників одного типу підприємств, які належать до одного рівня трофічної мережі та характеризуються обмеженістю доступних ресурсів; популяція продуцента, що надає сировину; популяція консумента (потенційного конкурента), що є «хижаком» стосовно «продуцента» та «жертвою» щодо «хижака»; популяція «хижака» яка є господарюючим суб'єктом, якого заведено вважати верхнім трофічним рівнем мережі.

Попри вагомий внесок у розроблення цієї проблематики, трансформації в економіці зумовлюють об'єктивну необхідність постійного пошуку нових ІТ-підходів у дослідженні та моделюванні економічних процесів, прогнозуванні синергетичного ефекту М&А, створенні нових ІТ економіко-математичного моделювання динаміки еволюційних процесів трофічних відносин популяцій підприємств. Окреслені питання визначають актуальність теми роботи, її теоретичну та практичну значущість.

Метою дослідження є аналіз і подальший розвиток методів, інформаційних технологій та економіко-математичних моделей еволюційних процесів трофічних відносин на прикладі популяцій підприємств молочної промисловості.

Об'єктом дослідження є динамічні еволюційні процеси трофічних відносин у популяціях підприємств.

Предметом дослідження є інформаційні технології та математичні моделі еволюційних процесів трофічних відносин популяцій підприємств.

Практичне значення отриманих результатів полягає в створенні комплексу моделей, методів і програмних засобів дослідження динаміки еволюційних процесів трофічних відносин і системи прогнозування синергетичного ефекту М&А підприємств з відповідним інформаційним забезпеченням. Практичне застосування отриманих результатів спрямоване на підвищення ефективності управління підприємством на основі еволюційного підходу, що є ІТ-базою для техніко-економічного обґрунтування та вибору сценарію розвитку підприємств молочної промисловості в нестабільному економічному середовищі.

Економічна наука в країнах з розвинутою економікою як фундаментальний метод дослідження використовує критичний синтез класичних теорій і новітніх концепцій. Для його обґрунтування застосовується моделювання складних і суперечливих соціальних та економічних процесів на різних рівнях економіки (від мікро- до макрорівня), властивих її сучасному стану й прогресу, що має певні перспективи [8].

Чимало об'єктів, що розглядаються як системи, мають вельми складні властивості, наприклад, складне неоднозначне поводження, складну мету тощо. Більшість цих властивостей характерна для економічних систем.

Національну економіку можна розглядати як спільноту різних популяцій підприємств, що мають унікальні риси.

Взаємодія між підприємствами — членами популяції та самими популяціями визначає динаміку цих систем, їх стійкість, жит-

тездатність, можливості передачі знань. Джерелом мутацій є процеси в межах популяції та зовнішні впливи.

Якщо еволюція в біології — це зміна популяції виду тварин, то на рівні підприємства — це зміна організаційної структури підприємства та його підсистем.

У біофізиці існує кілька ідеалізацій, пов'язаних з трофічними відносинами, які, на наш погляд, можна перенести на економіку (Одум, 1975). Це зокрема:

а) трофічна мережа — ланцюг «перенесення енергії (їжі) від її джерела (рослин), що відбувається шляхом поїдання одних організмів іншими»;

б) сплетення трофічних (харчових) ланцюгів у біології називають харчовою мережею;

в) популяції (організми), які отримують енергію (їжу) від джерела з однаковою кількістю етапів і належать до одного трофічного рівня.

З цієї аналогії випливає, що в рамках еволюційного моделювання популяцій підприємств має сенс розглядати не будь-які можливі трофічні мережі, але насамперед орієнтовані трофічні мережі, у яких можна виокремити односпрямований потік енергії, сировини, прибутку. Якщо дотримуватися цієї думки, то з розгляду слід вилучити два типи можливих трофічних мереж. По-перше, це мережі, вершини графів яких мають лише вхідні або лише вихідні потоки сировини — прибуток. Це міркування уявляється очевидним. По-друге, слід вилучити з розгляду мережі, графи яких містять замкнуті нескінченні цикли.

Існують три основні типи міжпопуляційних відносин: 1) конкуренція; 2) симбіоз; 3) «хижак–жертва». Зазвичай виокремлюють симбіотичні відносини двох типів:

2.1. «Протокооперація», за якої міжвидова взаємодія корисна для обох видів, але не є обов'язковою (обов'язковою), і кожна популяція може існувати за відсутності іншої. Припустимо, що динаміка чисельності обох популяцій у відносинах «протокооперації» за відсутності іншої популяції, описується логістичним рівнянням, коефіцієнти якого загалом різні для обох популяцій. Щодо впливу на динаміку чисельності самих відносин «протокооперації», то в першому наближенні природно припустити, що їх можна описати аналогічно до відносин «хижак–жертва», тобто білінійними членами, які входять в обидва рівняння з позитивними знаками.

2.2. «Мутуалізм», за якого міжпопуляційні взаємодії є обов'язковими. Необхідна умова мутуалізму — існування кожного з

видів, і за відсутності іншої популяції кожен з видів зменшує чисельність і щільність популяції.

Трофічні відносини на зразок «хижак–жертва» з трьох основних типів міжпопуляційних відносин дають значні розбіжності динамічних режимів поведінки взаємодіючих популяцій.

Уперше модель, що описує динаміку чисельності (щільності) двох популяцій, які взаємодіють за принципом «хижак–жертва», незалежно один від одного запропонували А. Д. Лотка і В. Вольтерра [4]. Математичний аспект цих досліджень розвинули в низці робіт А. Д. Базикін [1], А. А. Вітта, Г. Ф. Гаузе [5]. Їхні послідовники з 1960-х років розробляли й досліджували моделі для опису динаміки взаємодіючих популяцій з відмінними від вольтерівських кінестичними функціями. Значна частина моделей представлена для популяцій у вигляді звичайних диференціальних рівнянь [1].

Еволюційний підхід використовує еволюційне моделювання економічних систем. Динаміка зміни структури економічної системи оцінюється за зміною системних параметрів в обмеженнях цих моделей. Коли еволюціонує підприємство, то воно здатне відтворювати себе на вищому рівні й певний час існувати на базисі популяцій нижчих рівнів.

Основним об'єктом еволюційної економіки є популяція підприємств у конкретному ринковому середовищі. Таким середовищем в економіці вважають мезорівень — галузь. Передусім предметом розгляду еволюційної теорії мезоекономічних структур є популяція підприємств, пов'язаних виключно відносинами конкуренції та кооперації.

Унаслідок перенесення акценту на множинність взаємозв'язків інформаційних конфігурацій межі галузі та популяції можуть не збігатися, навіть якщо основою цього виділення є використання однієї головної технології або присутність на одному товарному ринку.

Популяція підприємств — об'єкт вивчення еволюційних теорій, об'єднання підприємств (галузь), що мають певні спільні характеристики, які відрізняють її від іншої групи.

Відображення моделі популяції $\vec{Y}_i = W\vec{X}_i$ підприємств як структури з динамічними характеристиками експериментально підтверджено в роботах А. Д. Лотка та В. Вольтерра [4], певні математичні аспекти досліджень розвинуті в низці праць Г. Ф. Гаузе [5] і А. Вітта [14].

Популяції в молочній промисловості України — це множини представників одного виду підприємств, які належать до одного

рівня трофічної мережі та мають обмеженість доступних ресурсів; популяція продуцента, яка надає сировину; популяція консумента (потенційного конкурента), яка є «хижаком» щодо «продуцента» й «жертвою» щодо «хижака»; популяція «хижака», яка є господарюючим суб'єктом, якого зазвичай вважають верхнім трофічним рівнем мережі. У роботі ми досліджуємо трофічні відносини кластерів популяцій об'єктів еволюційного процесу в реалізації «факультативного хижацтва» [1] в молочній промисловості України (рис. 1).

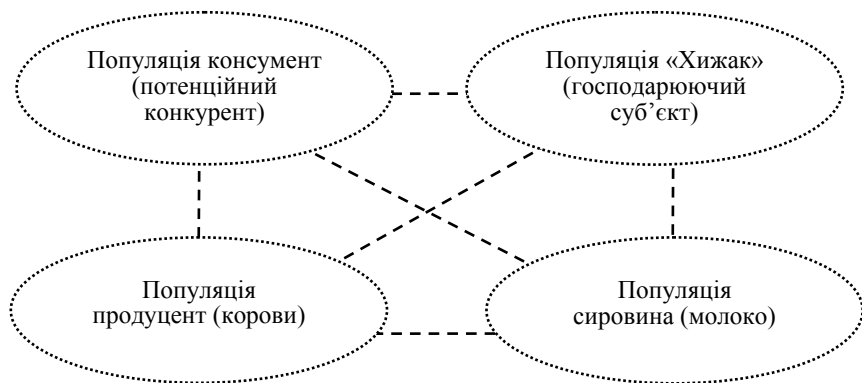


Рис. 1. Структура трофічних відносин кластерів популяцій об'єктів еволюційного процесу

Джерело: розроблено автором

Трофічні ресурси можуть поповнюватися значно повільніше, ніж зростання чисельності популяції, яка їх використовує. Якщо трофічний ресурс не поширюється територіально, а популяція мобільна, то такий ресурс може зникнути.

В Україні триває процес укрупнення ринку шляхом концентрації виробництва. Укрупнення підприємств відбувається із залученням іноземних коштів і дуже часто супроводжується виходом на український ринок уже відомих світу торгових марок [7].

Необхідно визначити методи управління, що забезпечують високу ефективність системи. Реальна можливість управління полягає в тому, щоб, впливаючи на процеси в системі, стимулювати їх у напрямі певної орієнтації на поведінку системи, близьке до бажаного.

Кожна економічна система перетворює певний набір ресурсів на продукцію. Незалежно від спеціалізації системи й специфіки її

функціонування типи використовуваних нею ресурсів, власне, однакові — основні засоби, обігові кошти та праця.

Спинимось на трофічних відносинах у процесі реалізації факультативного хижацтва й дослідимо трофічну структуру в системі диференціальних рівнянь логістичної динамічної моделі чотирьох взаємодіючих популяцій у мережі трофічних відносин відповідно до методики Лотки-Вольтерра, яка враховує еволюційну динаміку популяцій: «продуцент ($x_1(t)$)» → «сировина ($x_2(t)$)» → «консумент — потенційний конкурент ($x_3(t)$)» → «покупець — господарюючий суб'єкт $y(t)$ (потік коштів Δy_i)».

Зауважимо, що термінологія та способи графічного відображення в цій сфері не цілком визначені: з одного боку, «хижаків» зазвичай вважають верхнім трофічним рівнем¹, з іншого боку, потік речовини — енергії, прибутку, який проходить через економічну систему, зображати як такий, що рухається знизу доверху. Фактори можуть впливати один на одного, причому такий вплив може бути позитивним, коли збільшення або зменшення одного чинника зумовлює збільшення або зменшення іншого чинника, і навпаки, протилежних, коли вплив може мати й змінний знак, залежно від можливих додаткових умов.

Описуючи трофічні взаємовідносини² в системі чотирьох популяцій, природно використовувати термін «продуцент» і зберегти термін «сировина» $x_2(t)$, що є «сировиною» для двох інших популяцій спільноти $x_3(t)$, $y(t)$, і термін «покупець — господарюючий суб'єкт» $y(t)$, який поглинає обох партнерів по спільноті. Популяцію, яка є хижаком щодо «продуцента» і жертвою щодо «хижака», можна означити поняттям «консумент».

Для розуміння й аналізу поведінки складної системи розроблена діаграма трофічної мережі відносин причинно-наслідкових зв'язків елементів системи (факторів ситуації). Позначимо популяції прямокутником, а трофічні відносини між ними — стрілками, що вказують напрямки потоків речовини, енергії, прибутку тощо. Лінія, що йде зліва направо, відображає прямий зв'язок осередків мережі, а справа наліво — зворотний зв'язок, який створює цикл. Якщо розмістити компоненти аналізованої моде-

¹ Підприємства, які отримують ресурси (сировину, енергію, фінансові, трудові, інформаційні тощо) через рівне число ланок у трофічному ланцюзі, знаходяться на одному трофічному рівні.

² Взаємовідносини між великими підприємствами — лідерами галузі та дрібними підприємствами, які донедавна «мирно» співіснували, працюючи в неоднакових цінових сегментах і на різних ринках, і моделі, що описують економічну систему та враховують динаміку чисельності конкуруючих популяцій у відносинах протокооперації, нелінійності зростання та конкуренції є трофічними.

льної системи на чотирьох трофічних рівнях, уважаючи «хижака» верхнім, то графі набувають такого вигляду (рис. 2).

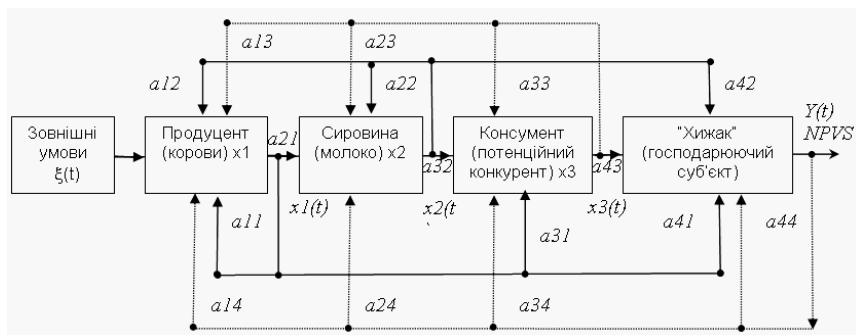


Рис. 2. Діаграма трофічної мережі відносин: «продукент» → «сировина» → «консумент — потенційний конкурент» → «покупець — господарюючий суб'єкт (потік коштів)» у реалізації факультативного хижацтва

Джерело: розроблено автором самостійно на основі отриманих результатів розрахунку та синтезу

Діаграма показує структуру міжпопуляційних відносин у системі. Щоб уявити собі функціонування системи, ми маємо визначити, як поводить себе кожна з чотирьох популяцій $x_i = 1,3(t)$, $y(t)$, що входить до міжпопуляційних трофічних відносин.

Якщо в системі конкурують кілька «популяцій» — фірм, підприємств, організацій, то рівняння динаміки для кожної з них необхідно доповнити перехресними зв'язками — їх взаємовпливом.

Популяції у наведеній системі чотирьох трофічних зв'язків є автотрофними, тобто такими, які надані самі собі, збільшуються, а ті, що зменшуються, є гетеротрофними. Автотрофність популяції природно зобразити стрілкою, що входить до відповідного блока графа, а гетеротрофність — стрілкою, яка виходить з блока.

Побудова динамічної моделі ґрунтується на спрощенні досліджуваної ситуації. Однак навіть доволі грубе спрощення дає змогу глибше збагнути сутність процесів еволюції популяцій. Методами якісного дослідження маємо можливість виявити наслідки тих чи інших заходів впливу на досліджувану систему, вивчаючи результати зміни параметрів моделі. Такий аналіз дуже важливий, оскільки насправді в економічних реаліях нечасто вдається знайти очевидний розв'язок диференціальних рівнянь, особливо нелінійних.

Математична еволюційна модель економічного об'єкта трофічної мережі відносин матиме наведені нижче особливості.

1. Стан підприємства задається вектором $\vec{X}_i = \{x_1, x_2 \dots x_n\}$ фактичної інформації, що відповідає показникам господарської фінансово-економічної діяльності підприємства та утворює мережу об'єктів популяції підприємств $ППр_{ij}^X$.

2. Поведінка об'єкта є детермінованою, тобто його стан може змінюватись у часі (t), отож усі координати $x_{i=1,3}(t)$, $y(t)$ залежать тільки від однієї незалежної змінної часу.

3. Стан точки, що рухається у фазовому модельному просторі $ППр_{ij}^Y$, задається двома векторами $\vec{X}_i = \{x_1, x_2 \dots x_n\}$, $\vec{Y}_i = \{y_1, y_2 \dots y_n\}$. Вектор f_i є фазовою швидкістю. У теорії звичайних диференціальних рівнянь вважаються відомими тільки вектори швидкості в точках фазового простору. Множина таких векторів є векторним полем.

4. Усі залежності $x_{i=1,3}(t)$, $y(t)$ є диференційованими функціями однієї змінної часу. Сукупність $\{x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, f_i\}$ — вектор стану розміром $4 \times n$. Де f_i визначається $f_1 = \frac{dx_1}{dt}, f_2 = \frac{dx_2}{dt}, \dots, f_n = \frac{dx_n}{dt}$.

Для моделювання процесів M&A нами вдосконалено рівняння математичної біофізики логістичного зростання, що описує динаміку чисельності популяції за рахунок ускладнення трофічних відносин. На їх основі побудовані загальні інтегродиференційні моделі взаємодії популяцій, а також досліджуються керовані моделі еволюційного процесу, динаміки популяцій у трофічній мережі відносин.

Модельна популяція являє собою набір параметризованих моделей окремих ЖЦП (життєвих циклів) підприємств, достатній для репрезентативного відображення властивостей реальної популяції підприємств, тобто різноманітності стратегій і виробничих можливостей (доступних технологій) підприємств (причому як реально використовуваних, так і потенційно їм доступних).

Система диференціальних рівнянь, що описують економічну систему $\frac{dx_{i=1,n}}{dt} \Big|_{x_{i=1,n}=x(0)} = f(x_1, x_2, \dots, x_n, a_{ij}, y(t), Ki_{i=1,m}(t), \xi)$, має враховувати динаміку чисельності конкуруючих популяцій у відносинах протокооперації, нелінійність нарощування, нелінійність поглинання популяцій і конкуренцію.

Введення в модель і розгляд динамічних ефектів, пов'язаних з кожним окремо взятим фактором, з математичного погляду означає дослідження певного однопараметричного збурення системи. Для уточнення вигляду функції доцільно ввести в систему додаткові фактори:

1) нелінійність, квадратичний характер залежності швидкості поглинання хижаками жертв від щільності популяції жертви за малих значень щільності; швидкість нарощування популяції жертви — від щільності за малих значень щільності;

2) конкуренцію покупця за жертв; конкуренцію покупця за відмінні від жертви ресурси; конкуренцію хижаків за жертв, тобто зниження за фіксованої щільності популяції жертви швидкості поглинання жертви одним хижаком зі зростанням щільності популяції хижака;

3) поглинання консументів (у разі врахування нелінійного характеру нарощування за малої щільності популяції).

Основою математичної моделі динаміки може бути, за аналогією з моделями чисельності популяцій у біології, міркування балансу сумарної чисельності популяції. Тоді систему диференціальних рівнянь як логістичну, динамічну математичну модель системи прогнозування синергетичного ефекту, яка враховує всі аспекти операцій еволюційного процесу, динаміку всіх популяцій відповідно з урахуванням нелінійності нарощування за малої щільності популяції та конкуренції у трофічній мережі відносин можна представити у вигляді:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= a_{11} * (x_1(t) - \frac{x_1(t)^2}{K_1}) + a_{12} * x_1(t) * x_2(t) - a_{13} * x_1(t) * x_3(t) - a_{14} * x_1(t) * y(t) - \xi(t - \theta) \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_{22} * (x_2(t) - \frac{x_2(t)^2}{K_2}) + a_{21} * x_2(t) * x_1(t) - a_{23} * x_2(t) * x_3(t) - a_{24} * x_2(t) * y(t) \\ \frac{dx_3}{dt} &= a_{33} * (x_3(t) - \frac{x_3(t)^2}{K_3}) + a_{31} * x_3(t) * x_1(t) + a_{32} * x_3(t) * x_2(t) - a_{34} * x_3(t) * y(t) \\ \frac{dy}{dt} &= a_{44} * (y(t) - \frac{y(t)^2}{K_4}) + a_{41} * y(t) * x_1(t) + a_{42} * y(t) * x_2(t) + a_{43} * y(t) * x_3(t) \\ NPVS &= \sum_{i=1}^n \frac{\Delta y_i}{(1 + r_e)^i} - P - E \end{aligned} \right.$$

Тут $x_{i=1,3}(t)$, $y(t)$ — чисельність i -ї популяції трофічної мережі для економічної системи. Δy_i — потік коштів для акціонерів під час M&A; NPVS — чистий приведений ефект синергії (у часі); r_e — ставка дисконтування; P — премія, що виплачується при поглинанні акціонером; E — витрати покупця в процесі M&A;

$\xi(t)$ — стохастична складова; $K_{i=1,4}(t)$, ($K_2 = f(K_1)$, $K_3 = f(K_1, K_2)$, $K_4 = f(K_1, K_2, K_3)$) — коефіцієнти доступності трофічних ресурсів (граничні густини насичення максимального обсягу ринку для популяцій підприємств відповідно, або місткість середовища, яке може підтримувати існування в популяції не більш як $K_{i=1,4}(t)$ ресурсів). Весь ринок становить $K_4 = f(K_1, K_2, K_3)$; $\frac{dx_{i=1,3}}{dt}, \frac{dy}{dt}$ —

збільшення швидкості зростання питомих доходів i -ї популяції, що залежить від джерела доходів; a_{ij} — параметри системи, коефіцієнти в рівняннях еволюції, усереднені ринкові еволюційні мультиплікатори (коефіцієнти конкуренції), які можуть підтримуватися постійними, а можуть цілеспрямовано регулюватися; a_{ii} — мультиплікатор збільшення швидкості зростання питомих доходів (питомі швидкості росту) i -тої популяції підприємства, що залежить від джерела доходів. Чим краще становище підприємства, тим більше значення a_{ii} . Сукупність усіх параметрів системи є їхньою матрицею.

Внутрішньопопуляційна конкуренція врахована другим від'ємним членом у рівняннях моделі та має величину $\frac{x_{i=1,3}(t)^2}{K_i}, \frac{y(t)_2}{K_4}$, яка характеризує зниження швидкості зростання

питомих доходів підприємства через вплив конкуруючих підприємств. Урахування внутрішньовидової популяційної конкуренції, пов'язане з конкуренцією за ресурси (трудові, природні, інформаційні тощо), забезпечує зворотний зв'язок. Це означає, що мірою вичерпання ресурсу приріст виду уповільнюється нелінійно квадратично, хоча коефіцієнти a_{ii} залишаються постійними. Внутрішньопопуляційну конкуренцію для окремого підприємства потрібно пояснювати аналогічно до вичерпання ринку (дуополія) або ресурсу (дуопсонія). Повну аналогію з біологічними системами можна побачити в конкуренції популяцій підприємств або галузей, яким притаманні обидва види взаємодії.

Кожна популяція підприємств, досягнувши сталого стану, автоматично займає відповідний сегмент ринку. На відміну від біологічних популяцій, економічні об'єкти можуть заздалегідь свідомо домовитися про розподіл ринку.

Біологічні характеристики можна інтерпретувати як економічні [4]. Популяції підприємства $x_{i=1,3}(t)$, $y(t)$ трактуємо як річні

випуски реалізованої продукції (доходи) підприємств-конкурентів. Для економічної системи це можуть бути такі показники: обсяг виробництва, прибуток, ціна акцій, кількість клієнтів, питомі доходи i -го підприємства (популяції) на одиницю капіталу тощо. Категорія «доходи» в цьому разі краще відповідає процесу, ніж категорія «прибуток», оскільки прибуток прямо не відповідає обсягу ринку $K_{i=1,4}(t)$, який заповнюється продукцією. Величини $x_{i=1,3}(t)$, $y(t)$ можна взяти і в натуральному значенні. Процес конкуренції не може розпочатись за нульових значень доходів популяцій або готової продукції, тобто $x_{0i=1,3}(t)$, $y_0(t) > 0$. Біологічна аналогія така: щоб отримати сировинну базу (корми для продуцента), поле потрібно засіяти.

За допомогою коефіцієнта конкуренції a_{ij} , значення якого залежить передусім від ступеня подібності потреб популяцій у тих чи інших ресурсах, оцінюють конкурентну дію популяції $x_i(t)$ на популяцію $x_j(t)$ з розрахунку на одну особину. За допомогою добутку $a_{ij} \times x_i(t) \times x_j(t)$ ця дія виражається еквівалентною кількістю $x_i(t)$ або $x_j(t)$. Якщо $a_{ij} < a_{ji}$, то це означає, що i -й вид менше впливає на j -й вид і важливішою є внутрішньовидова конкуренція.

Коефіцієнти a_{ii} можна трактувати як потенційно можливий річний приріст доходів (або продукції в натуральному вираженні) за умови безмежного ринку й експоненціального зростання доходів і відсутності конкуренції. Збільшення доходів припиняється після заповнення ринку або навіть зменшується внаслідок дій конкурента, але зазначені коефіцієнти та залишаються постійними й сталими впродовж усього процесу, оскільки модель заснована на логістичних рівняннях.

Процеси ресурсно-технологічної та поведінкової динаміки окремих популяцій підприємств забезпечують пошук ефективніших корпоративних управлінських стратегій, зміну способів адаптації організації до мінливих умов, дають змогу визначити характерні для певної популяції стадії ЖЦП, тобто етапи розвитку.

Доволі поширені також роботи гібридного характеру, в яких деякі з функцій, що входять у модель, задаються в явній параметричній формі, а щодо інших роблять лише деякі загальні припущення на кшталт перелічених вище. Таким прикладом може слугувати модель Розенцвейг-Мак-Артура [13], яка набула великої популярності. Таким чином, об'єктом дослідження в цьому разі є деякі чотирипараметричні збурення системи, або системи диференціальних рівнянь першого порядку, що залежать від параметрів системи.

Підсумовуючи міркування, висловлені вище щодо вигляду функції, яка описує залежність швидкості М&А поглинання «жер-

тви» «хижаком» від щільності обох популяцій, можна резюмувати: у нульовому наближенні й відповідно за класичною схемою Вольтерра її природно вважати білінійною за двома аргументами.

Труднощі використання еволюційних моделей полягають головним чином у непередбачуваності поведінки моделей, які можуть спонтанно виникати і зникати, причому, чим вища складність системи, тим більша вірогідність того, що вона змінить модель своєї поведінки за певних змін середовища, оскільки найбільш уміло й швидко ідентифікує цю зміну. Підприємства не завжди проявляють ту певну послідовність змін у часі, як це відбувається в біологічних системах. Визначити тривалість етапів життєвого циклу важко, адже на неї впливає чимало чинників.

Проте з огляду на множинні зворотні зв'язки, еволюційні процеси є суттєво нелінійними [3]. Наслідок подібної нелінійності — наявність як прямого, так і опосередкованого впливу різних подій (наприклад, входження нових підприємств до популяції підсилює конкурентний тиск на інші підприємства й стимулює їх адаптацію) і неможливість розкладання траєкторії на окремі складові, детерміновані винятково дією певного механізму, що вдосконалює закони еволюційної економіки В. Вольтерра: періодичного циклу, збереження середніх величин популяцій і моделі трофічних функцій системи «хижак — жертва» на прикладі процесів управління розвитком популяцій.

Процес перетворення стану входу $x_{вх}$ системи на стан виходу $y_{вих}$ можна записати в термінах перетворення: $\forall x \in X_{вх}, \exists y \in Y_{вих}, W : x_{вх} \rightarrow y_{вих}$, або $y_{вих} = Wx_{вх}$. Символ W є оператором перетворення, який визначає, що необхідно змінити у стані $x_{вх}$ на вході, щоб одержати на виході стан $y_{вих}$.

Передавальні функції прямого $W_{п.з.}$ і зворотного $W_{з.з.}$ зв'язків характеризують перетворення вхідної дії $x_{вх}$ на вихідну величину $y_{вих}$, що є станом еволюційної системи, відбувається в її динамічній ланці та записується як відношення двох операторних поліномів.

Використовуючи теореми перетворення Лапласа лінійності та диференціювання [2], отримаємо операторе рівняння, що зв'язує уявлення вхідного та вихідного параметрів системи:

$$\frac{x_{вих}(s)}{x_{вх}(s)} = W(s) = \frac{R(s)}{Q(s)}$$
; де $Q(s)$ — власний оператор динамічної еволюційної ланки, що характеризує його властивості; $R(s)$ — оператор зв'язку між динамічними ланками; s -комплексна змінна

в операторі перетворення Лапласа (за нульових початкових умов аналогічна оператору диференціювання $P = d/dt$).

Управління самоорганізацією популяції [9] полягає у поділі старої системи до рівня підсистем і компонентів, які необхідні для нової системи; створенні нової структури системи; підготовці системи до сприйняття управління $u(t, tu)$; нейтралізації в можливих межах несприятливих (таких, що заважають процесам самоорганізації) впливів середовища.

Оскільки всі системи управління, що розглядаються в синтезі динамічних систем, є замкнутими, а процеси всередині динамічних ланок визначаються також замкнутими контурами залежностей, можливість згортання замкнутих контурів з метою компактнішого їх зображення має принципове значення для синтезу системи еволюційного прогнозування синергетичного ефекту злиття та поглинання підприємств (СЕПСЕ) (рис. 3).

Синтез системи методом структурних схем і передавальних функцій уможливорює запис системи рівнянь

$$\frac{dx_{i=1,n}}{dt} \Big|_{x_{i=1,n}=x(0)} = f(x_1, x_2, \dots, x_n, a_{ij}, y(t), Ki_{i=1,n}(t), \xi),$$
 у вигляді блоків з природними знаками зв'язків, що добре відображає зміст досліджуваного процесу.

Синтезована схема системи еволюційного прогнозування синергетичного ефекту злиття та поглинання підприємств відображає систему як об'єкт управління разом з контурами керування нею.

На такій моделі чітко визначені всі вхідні дії, що збуджують та управляють; виділені вихідні координати системи $xi_{i=1,3(t)}, y(t)$, NPVS, які треба витримувати в заданих межах; визначені координати, на які можна впливати для зміни режимів функціонування об'єкта, а також відповідні канали управління, за допомогою яких ці дії реалізуються. Схема СЕПСЕ складається з послідовно-паралельно з'єднаних блоків:

1) блоки 1–4 — інтегруючі (БІ), що використовують перетворення Лапласа лінійності та диференціювання й обчислюють значення доходів популяції відповідно до $xi_{i=1,3(t)}, y(t)$, NPVS;

2) блоки 5–29 — арифметичні (АБ), до складу яких входять блоки перетворення правих частин рівняння з метою обчислення чисельності популяції трофічної мережі для економічної системи, які надають значення коефіцієнтів a_{ij} усереднених ринкових еволюційних мультиплікаторів;

3) блок 30, що розраховує NPVS — чистий приведений ефект синергії; $K1, K2 = f(K1), K3 = f(K1, K2), K4 = f(K1, K2, K3)$ —

коефіцієнти доступності трофічних ресурсів; Зв.Зв. — зворотний зв'язок.

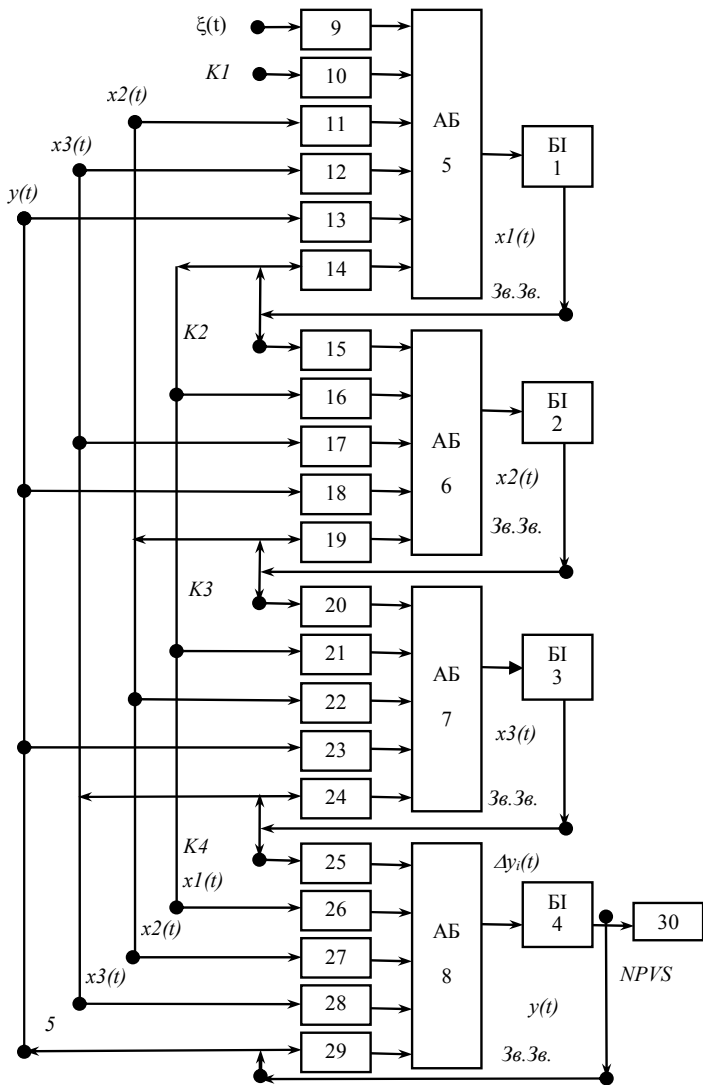


Рис. 3. Система еволюційного прогнозування синергетичного ефекту злиття та поглинання підприємств
Джерело: розроблено автором самостійно та запатентовано СЕПСЕ [10]

Переваги синтезованої системи перед аналогами досягаються за рахунок введення:

- параметрів системи a_{ij} , які характеризують чутливість виробництва до браку ресурсу та найбільший темп попиту на продукцію фірм, готовність виробників задовольняти наявний попит на продукцію і темпи згортання виробництва певного виду продукції за відсутності попиту;

- блоків розрахунку динаміки числових значень популяцій у трофічній мережі відносин: «продуцент ($x_1(t)$)» → «сировина ($x_2(t)$)» → «консумент — потенційний конкурент ($x_3(t)$)» → «покупець — господарюючий суб'єкт $y(t)$ (потік коштів Δy_i)»;

- блоку розрахунку та прогнозування чистого приведенного ефекту синергії як потоку коштів, що дає змогу досліджувати динаміку зміни популяцій і вплив змін на синергетичний ефект;

- арифметичних та інтегруючих блоків, які розраховують еволюційні процеси розвитку й управління трофічними відносинами між популяціями підприємств;

- блоків урахування доступності трофічних ресурсів і впливу внутрішньо-видової конкуренції у популяції за ресурси (ринкові, природні, інформаційні тощо);

- блоку врахування впливу стохастичної складової на еволюційні процеси популяцій підприємств;

- множинних нелінійних зворотних зв'язків еволюційних процесів; наслідком подібної нелінійності є наявність як прямого, так і опосередкованого впливу різних механізмів (наприклад, входження нових підприємств підсилює конкурентний тиск на інші підприємства й стимулює їх адаптацію) і неможливість розкладання траєкторії на окремі складові, детерміновані винятково дією певного механізму.

Підсумовуючи сказане, наголосимо, що кібернетичні системи з вбудованим механізмом зворотних інформаційних зв'язків завдяки залученню до процесу функціонування результатів попередніх дій здатні ефективно самоорганізовуватися та налагоджувати взаємовідносини із середовищем, керувати своїм розвитком, протидіючи негативним флуктуаціям і підтримуючи гомеостатичний стан (динамічну рівновагу).

Запропонована СЕПСЕ дає змогу якісно та об'єктивно врахувати й оцінити весь спектр вияву форм ефекту синергії (як кількісних, так і якісних) від злиття та поглинання компаній та уможливорює відбір й укладання лише тих угод М&А, які будуть перспективними з погляду розвитку підприємства.

Проте виокремлення різних еволюційних механізмів в очевидному вигляді дасть змогу аналітично обґрунтувати пріоритетні

для конкретної популяції підприємств шляхи розвитку: спрощення входження новачків («розширення конкурентів») або прискорення вибуття неефективних підприємств («збільшення M&A»), або прискорення адаптації та зростання ефективних підприємств (посилення «міграції між популяціями»).

Висновки. У роботі здійснено теоретичне узагальнення та вирішено наукове завдання щодо подальшого розвитку методів, економіко-математичних моделей та інформаційних технологій еволюційних процесів трофічних відносин популяцій підприємств. Це дало змогу сформулювати деякі висновки.

1. Досліджена трофічна структура моделі чотирьох взаємодіючих популяцій у мережі трофічних відносин: продуцент $x_1(t) \rightarrow$ сировина $x_2(t) \rightarrow$ консумент — потенційний конкурент $x_3(t) \rightarrow$ покупець — господарюючий суб'єкт $y(t)$ (потік коштів Δy_i), яка враховує фазову еволюційну динаміку чотирьох взаємодіючих популяцій у мережі трофічних відносин. Побудовано систему диференціальних рівнянь, що є логістичною динамічною моделлю системи прогнозування синергетичного ефекту та враховує нелінійність нарощування, поглинання, насичення, малі обсяги популяцій, динаміку чисельності конкуруючих популяцій у відносинах протокооперації.

2. Здійснено синтез методом структурних схем і передавальних функцій і розроблено комп'ютерну систему СЕПСЕ у вигляді паралельно з'єднаних типових ланок з відображенням контурів управління чотирьох взаємодіючих популяцій у мережі трофічних відносин $x_i, i=1,3(t), y(t)$, яка ґрунтується на моделі трофічної мережі міжпопуляційних відносин підприємств молочної промисловості й може застосовуватися для аналізу динаміки перехідних процесів у різних сценаріях ЖЦП і прогнозування синергетичного ефекту M&A.

3. Запропоновано метод аналізу фазових портретів біфуркаційних діаграм моделей сценаріїв життєвого циклу підприємства молочної промисловості з використанням ІТ-розпізнавання образів, що дало змогу чисельно визначити геометричні параметри просторових форм, які утворюють поверхні фазових портретів, і їх розмір, що відповідає локусам стійкості й взаємодії чотирьох популяцій $x_i, i=1,3(t), y(t)$ у мережі трофічних відносин. Для аналізу результатів розпізнавання фазових портретів біфуркаційних діаграм ЖЦП, особливих точок збурення, затухання, циклів, рівноваги, їх стійкості, асимптотичної поведінки та інших властивостей за різних значень параметрів використано нейромережу Кохонена, яка класифікувала вхідні приклади стану біфуркації на п'ять окремих кластерів відповідно до сценаріїв розвитку ЖЦП.

Література

1. Базыкин А. Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций / А. Д. Базыкин. — М.; Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2003. — 368 с.
2. Бойчук Л. М. Структурный синтез нелинейных автоматических систем обратным методом / Л. М. Бойчук // Теория автоматического управления. — Вып. 1. — К.: Наук. думка, 1967. — С. 36–49.
3. Вітлінський В. В. Концепція та інструментарій нелінійної економічної динаміки на підґрунті адаптивних неперервних синергетичних моделей / В. В. Вітлінський, Ю. В. Коляда, А. Я. Махоткіна // Моделювання та інформаційні системи в економіці. [збірник наук. праць]. — Вип. 84. — К.: КНЕУ, 2011. — С. 19–34.
4. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтерра; [пер. с франц. О. Н. Бондаренко]; Под ред. Ю. М. Свирижева. — М.: Наука, 1976. — 285 с.
5. Гаузе Г. Ф., Витт А. А. О периодических колебаниях численности популяций / Математическая теория релаксационного взаимодействия между хищниками и жертвами и ее применение к популяции двух простейших / Г. Ф. Гаузе, А. А. Витт // Изв. АН СССР. Отд. мед., мат. и естеств. наук. — 1934. — № 10. — С. 1551–1559.
6. Клебанова Т. С. Математичні методи і моделі ринкової економіки: Навч. посіб. / Т. С. Клебанова, О. І. Черняк, М. О. Кизим. та ін. — Харків: ВД «ІНЖЕК», 2010. — 456 с.
7. Компанія «M&A в Україні». Обзор сделок по слияниям и поглощениям в Украине / [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://mergers.com.ua/ua/> — Назва з екрану.
8. Лукинов И. И. Эволюция экономических систем / И. И. Лукинов. — М.: Экономика, 2002. — 567 с.
9. Никольс Т., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах / Т. Никольс, И. Пригожин. — М.: Мир, 1979. — 512 с.
10. Патент України на корисну модель; UA 104435 U, G06Q50/00, G06Q90/00. Система еволюційного прогнозування синергетичного ефекту злиття та поглинання підприємств / Г.Ф. Іванченко, Бадер Омар Ахмад Далайін, Н.О.Іванченко. — № u201508401; заявл. 26.08.2015; опубл. 25.01.2016. — Бюл. № 2/2016.
11. Садченко К. В. Законы экономической эволюции / К. В. Садченко. — М.: Дело и сервис, 2007. — 272 с.
12. Akarony J., Falk H., Yehuda N. Corporate life cycle and the relative value-relevance of cash flow versus accrual financial information [Електронний ресурс]. <http://www.Bus.Brocku.Ca/Faculty/Documents/Corporate-Life-Cycle.pdf>.
13. Witt U. A. «Darwinian Revolution» in Economics? // J. Institutional and Theoretical Economics. — 1996. — N 4. — P. 707.

14. *Rosenzweig M. L., MacArthur R. H.* Gragical representation and stability conditions of predator-prey interactions // *Amer. Natur.* — 1963. — 97. — N 893. — P. 209–223.

**Сендзюк М. А., к.е.н., проф.,
Держук О. В., к.е.н., доц.**

ДОСЛІДЖЕННЯ СУТНОСТІ ТА ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНИМИ ФІНАНСАМИ З ПОЗИЦІЇ ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Управління державними фінансами — це складна й багатогранна система, яка функціонує в Україні в умовах високої складності, невизначеності й динамічності соціально-економічного середовища. Тому одним з пріоритетних завдань структурних реформ, які здійснюються в Україні, є вдосконалення системи управління державними фінансами як ключового інструмента забезпечення подальшого соціально-економічного розвитку. Це підтверджується також низкою ухвалених в Україні нормативно-правових актів, зокрема Законом України «Про відкритість використання публічних коштів», Стратегією застосування міжнародних стандартів фінансової звітності в Україні, Стратегією модернізації та підвищення ефективності управління державними фінансами.

На сучасному етапі розвитку системи управління державними фінансами головне завдання полягає в побудові якісно нової інтегрованої системи на основі єдиного інформаційного простору з використанням прогресивних засобів комунікацій, хмарних технологій і систем штучного інтелекту. У сукупності — це забезпечить проведення узгодженої бюджетної політики, підтримку та координацію дій її учасників, підвищить наукову обґрунтованість прийнятих управлінських рішень у сфері державних фінансів.

Для виконання визначеного завдання необхідно провести дослідження сутності та закономірностей процесів управління державними фінансами з позиції автоматизації цих процесів засобами прогресивних інформаційних технологій, узагальнити вітчизняний і закордонний досвід створення та функціонування інформаційних систем у сфері управління державними фінансами, розробити пропозиції щодо вдосконалення цих систем і запропонувати заходи щодо їх упровадження.

Передусім необхідно визначити розуміння поняття «управління державними фінансами» з урахуванням специфіки сучасних глобальних систем управління економікою, оскільки вже в ньому закладено основу змісту цієї категорії та її складових. Серед учених існують різні підходи до визначення цього поняття.

Зокрема, згідно з [21], *управління фінансами* — цілеспрямоване формування процесу перерозподілу фінансових ресурсів між різними суб'єктами фінансової системи і всередині них, діяльність щодо залучення та ефективності використання фінансових ресурсів. Водночас бюджет України виконується на значній частині залучених коштів за кордоном, що не береться до уваги, зазвичай, при розкритті сутності системи управління фінансами.

У науковій роботі [7] управління фінансами визначають таким чином: «у фінансах управління означає процес впливу на фінансові відносини, фінансові ресурси, їх організацію для реалізації фінансової політики. Крім того, управління фінансами можна визначити як сукупність всіх органів апарату управління всіх рівнів та їх управлінських дій». При цьому не акцентується увага на методах і технології управління фінансами.

Управління фінансами, як і будь-якою іншою системою, включає дві основні складові: об'єкти та суб'єкти управління. *Об'єктами* є різні види фінансових відносин, які можуть виникати на різних рівнях фінансової системи: державні фінанси, муніципальні фінанси, фінанси господарюючих суб'єктів, фінанси домогосподарства. *Суб'єктами* є ті організаційні структури, які здійснюють управління (фінансові відділи підприємств, фінансові державні органи, страхові органи тощо). Сукупність усіх організаційних структур, які здійснюють управління фінансами, утворює фінансовий апарат.

Так, як до об'єкта нашого дослідження входять саме *державні фінанси*, доцільно дати визначення цього поняття. За визначенням Опаріна В. М. [16], *державні фінанси* — це сукупність розподільно-перерозподільних відносин, що виникають у процесі формування та використання централізованих грошових коштів, призначених для фінансового забезпечення виконання державою покладених на неї функцій. Такої думки дотримується й низка інших авторів [1, 2, 5–7].

Для побудови інформаційної системи необхідно дослідити структурний склад системи управління державними фінансами. За результатами дослідження структурного складу системи державних фінансів доходимо висновку, що державні фінанси функціонують на загальнодержавному, регіональному й місцевому рівнях і вклю-

чають бюджет, позабюджетні фонди, державний кредит, фінанси державних і муніципальних підприємств. Очевидно, що такий об'єкт, як державні фінанси, є складним і багатограним, тому, як і будь-який складний процес, потребує власної системи управління.

Суб'єктом у системі органів управління державними фінансами доцільно виокремлювати органи стратегічного (Верховна Рада, Президент, Кабінет Міністрів) й оперативного (Міністерство фінансів, Державна казначейська служба, Державна фіскальна служба, Державна фінансова інспекція, Державна служба фінансового моніторингу України, фінансові виконавчі органи на місцях та ін.) управління.

Водночас необхідно зауважити, що система державних органів, які здійснюють управління фінансами, ґрунтується на загальноновизнаному в теорії управління їх поділі на органи загальної та спеціальної компетенції [18]. Органи *загальної компетенції* — це органи державної виконавчої влади, для яких управління в сфері державних фінансів є однією з багатьох інших функцій. Такими органами є Кабінет Міністрів України (на загальнодержавному рівні), місцеві державні адміністрації (на місцевому рівні), Національний банк України.

До органів *спеціальної компетенції* в сфері управління державними фінансами відносяться Міністерство фінансів України, Державна казначейська служба України, Державна фіскальна служба України, Державна фінансова інспекція України, Державна пробірна служба України, Державна служба фінансового моніторингу, Національна комісія регулювання ринків фінансових послуг, Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку.

Для побудови інформаційної системи слід дослідити взаємовідносини між суб'єктами процесу управління державними фінансами. Основною складовою цього процесу, як підкреслюється в низці публікацій [5–7, 18], є бюджетний процес. Офіційне визначення поняття *бюджету* викладено в Бюджетному Кодексі України, що означає план формування та використання фінансових ресурсів для забезпечення завдань і функцій, які здійснюються відповідно органами державної влади й органами місцевого самоврядування впродовж бюджетного періоду [4]. Відповідно, *бюджетний процес* — регламентований бюджетним законодавством процес складання, розгляду, затвердження, виконання бюджетів, звітування про їх виконання, а також контролю за дотриманням бюджетного законодавства.

Аналіз потоків інформації, що проходять при взаємодіях суб'єктів бюджетного процесу, дав можливість установити зони

впливу головних учасників системи управління державними фінансами (СУДФ), як це проілюстровано в табл. 1.

Таблиця 1

**ЗОНИ ВПЛИВУ ГОЛОВНИХ УЧАСНИКІВ СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНИМИ ФІНАНСАМИ**

	1. Фінансова політика	2. Стратегічне планування	3. Складання бюджету	4. Виконання бюджету	5. Обслуговування бюджету	6. Адміністрування доходів	7. Міжбюджетні відносини	8. Державний борг	9. Управління ресурсами і фінансовий ринок	10. Фінансовий контроль	11. Державні закупівлі	12. Міжнародна допомога	13. Фінансове забезпечення міжнародної діяльності
Міністерство фінансів													
Державна казначейська служба													
Державна фіскальна служба													
Державна фінансова інспекція													
Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері ринків фінансових послуг													
Міністерство економічного розвитку та торгівлі													
Національний банк України													
Рахункова палата													

З метою вдосконалення системи управління державними фінансами на основі інноваційних комп'ютерних технологій, створення єдиного інформаційного простору, необхідно дослідити структуру, календар бюджетного процесу та особливості організації його виконання на сьогодишній стадії та за теперішніх умов державного управління.

Констатуємо деякі моменти бюджетного процесу, передусім, що в просторі бюджет поділяється на державний і місцевий. Повний процес підготовки та контролю за виконанням державного бюджету України відбувається впродовж двох з половиною ро-

ків. У перший рік відбувається розроблення та прийняття державного бюджету, на другий — власне його виконання, а на третій рік — здійснюється аналіз виконання бюджету. Верховною Радою з метою приемственності прийнято рішення про складання бюджету на три роки. Зміст бюджетних процесів на кожний рік визначений Бюджетним кодексом [4]. Усі ці фактори необхідно враховувати при створенні інформаційної системи управління державними фінансами (СУДФ).

Як показали дослідження, у сучасній СУДФ відсутній належний рівень інтеграції її учасників, оскільки вона сформувалася під впливом структурних змін, які відбулися в усіх сферах суспільного життя. Недостатність інтеграції окремих складових СУДФ не дає змоги забезпечити гармонійний розвиток усієї системи державного управління фінансами, перетворити СУДФ в ефективний інструмент державного регулювання соціально-економічного розвитку країни.

Поряд з цим є актуальними питання прозорості та публічності бюджетного процесу, підвищення ефективності використання бюджетних коштів, удосконалення вітчизняного законодавства з питань фінансової політики держави. Усе це приводить до необхідності вдосконалення функцій управління в СУДФ на основі створення єдиного інформаційного простору (ЄІП) для Міністерства фінансів України, Державної казначейської служби, Державної фіскальної служби України, Державної фінансової інспекції України та головних розпорядників коштів, побудованої на єдиних принципах і з використанням сучасних програмних і технічних засобів.

Суттєве значення в нашому дослідженні має визначення поняття «єдиний інформаційний простір» (ЄІП). Поняття ЄІП доволі широке й може мати різні трактування для різних сфер діяльності. У дослідження інформаційного простору значний вклад внесли вітчизняні вчені та науковці інших країн [3, 10–13, 15]. Розглядаючи інформаційний простір з позицій синергетики, його можна представити як відкриту систему, яка самоорганізується, що включає в себе величезну різноманітність інформаційних потоків та інформаційних полів, які перебувають у взаємодії.

На наш погляд, у дослідженнях Олійника О. В. [15] найбільш вдало обґрунтовується правове визначення інформаційного простору як сукупності структурних елементів, до яких входять: а) національні інформаційні ресурси; б) інформаційна інфраструктура в складі: організаційні структури, що забезпечують формування, функціонування й розвиток інформаційного простору; інформаційно-телекомунікаційні системи; інформаційні технології; система засобів масової інформації; правове забезпе-

чення інформаційної діяльності. Існують й інші погляди, зокрема, під *інформаційним простором* розуміють територію поширення інформації за допомогою конкретних компонентів системи інформації та зв'язку, де функціонування інформаційної діяльності має гарантоване правове забезпечення [3].

В організаційно-технічному аспекті *структуру інформаційного простору* становить сукупність баз і банків даних, технологій їх ведення та використання, інформаційно-телекомунікаційних систем, мереж, додатків та організаційних структур, що функціонують на основі певних принципів і за встановленими правилами, що забезпечує інформаційну взаємодію користувачів, а також задоволення їхніх інформаційних потреб [13].

Варто приділити увагу виокремленню різних систем ЄІП України за Клімушиним [11], що ілюструється на рис. 1. Так, автор поділяє єдиний інформаційний простір України на: національні системи, міжгалузеві системи, відомчі системи. Такий поділ показує, що єдиний інформаційний простір управління державними фінансами відноситься до відомчих систем, а також пов'язаний з міжгалузевими (уніфікованість стандартів, єдині реєстри) і національними (є частиною електронного уряду).



Рис. 1. Інфраструктура пріоритетних напрямів створення ЄІП України
Джерело: [11]

Крім державного інформаційного простору, можуть розрізняти багато інших видів інформаційного простору, наприклад, ринковий інформаційний простір, глобальний інформаційний простір, мережевий інформаційний простір, єдиний інформаційний простір заданої системи.

Суттєвим у нашому дослідженні є визначення єдиного інформаційного простору управління державними фінансами. Аналізуючи праці вітчизняних і зарубіжних авторів, які досліджували інформаційний простір, нами не виявлено визначень єдиного інформаційного простору управління державними фінансами. За результатами проведених нами досліджень доходимо висновку, що під єдиним інформаційним простором управління державними фінансами слід розуміти систему, яка охоплює сукупність баз і сховищ даних, та інші інформаційні ресурси про державні фінанси, технології їх формування, підтримки та використання, а також засоби комунікацій, що забезпечують інформаційні та фінансові взаємодії всіх учасників управління державними фінансами.

На основі структурного аналізу нами визначені мета, задачі, параметри та функції інформаційної системи управління державними фінансами (ІСУДФ). Спробуємо їх назвати.

Метою створення інформаційної системи управління державними фінансами, як досягнення кінцевих результатів, є:

- поліпшення інформаційної взаємодії учасників бюджетного процесу, що досягається в результаті інтеграції інформаційних інфраструктур основних учасників процесу управління державними фінансами;
- забезпечення оперативності та точності отримання Міністерством фінансів інформації про стан і використання державних фінансів та її завантаження в єдине сховище даних;
- підвищення рівня автоматизації процесу створення аналітичної звітності з бюджетних питань шляхом упровадження інструментальних засобів, орієнтованих на кінцевого користувача;
- створення платформи для розроблення та впровадження національної програми створення «електронного уряду»;
- досягнення високого ступеня прозорості бюджетних та інших процесів управління державними фінансами й надання доступу до них громадянському суспільству.

Завдання інформаційної системи управління державними фінансами визначаються, виходячи з того, що потрібно виконати для успішного її створення, функціонування та використання.

Проведені дослідження показали, що завдання інформаційної системи управління державними фінансами полягають у такому:

- забезпечити комплексний підхід, який ґрунтується на принципах безперервності та прозорості процесів планування та контролю виконання державного бюджету;

- надати користувачам засобами сучасних комунікацій можливість ведення даних, їх аналізу, створення звітів для управління державними фінансами;

- уніфікувати опис одиниць зберігання інформації в системі. Важливим моментом є необхідність обробляти в єдиному середовищі як структуровані дані (тобто ті, що знаходяться в базах даних), так і неструктуровані дані (наприклад, листи, накази, звіти, протоколи та ін.);

- оптимізувати автоматизовані процеси управління державним бюджетом країни;

- полегшити спільну роботу, взаємодію й координацію процесів управління державними фінансами великої кількості учасників бюджетного процесу, зокрема структурних підрозділів міністерства, головних розпорядників коштів та ін.;

- поліпшити процес прийняття рішень в управлінні державними фінансами на основі роботи в реальному режимі часу та з ЄП.

Інформаційна система управління державними фінансами, як показали дослідження, повинна характеризуватись такими параметрами:

- інформаційні ресурси, якими можуть обмінюватися суб'єкти системи;

- суб'єкти, які інформаційно взаємодіють у системі — органи державної влади, описані вище. Їх діяльність забезпечує формування та реалізацію державної фінансової політики, однак інституціональна, методологічна та технологічна координація між ними є слабкою та явно недостатньою;

- територія, на якій розташовані об'єкти, що охоплені єдиним інформаційним простором — територія держави;

- нормативно-правові засади організації обміну інформаційними ресурсами між суб'єктами СУДФ;

- засоби обміну інформаційними ресурсами між суб'єктами інформаційної взаємодії.

З урахуванням наведених вище особливостей організації ЄП, як показали дослідження, інфраструктура СУДФ повинна забезпечувати виконання таких функцій:

- швидке та надійне отримання інформації з різних джерел;

- надійне, катастрофостійке зберігання інформації;

- здійснення пошуку інформації за різними критеріями (зокрема за текстом і неформалізованими запитамі);
- стійке доведення інформації до користувачів (людей, процесів, програмних застосувань);
- підтримання заданого рівня безпеки інформації.

Визначивши теоретико-методологічні засади створення інформаційної системи управління державними фінансами, проаналізуємо існуючі підходи до її створення в Україні та у державах з розвинутою економікою. Для цього спочатку розгляне докладніше параметри ІСУДФ, склад якої визначений вище. Найважливішим серед цих параметрів є інформаційні ресурси, якими можуть обмінюватись суб'єкти управління державними фінансами.

Загалом в існуючій інфраструктурі СУДФ успішно функціонує близько двох десятків інформаційно-аналітичних систем, відомих телекомунікаційних мереж, баз даних та інших інформаційних ресурсів, зокрема:

- інформаційно-аналітичні системи «Державний бюджет» (АІС «Держбюджет»), «Місцеві бюджети» (ІАС «Місцеві бюджети»), «Державний борг» (АІС «Державний борг»);

- автоматизована система казначейства — АС «КАЗНА», яка виконує автоматизований контроль виконання бюджетів, завершений у 2004 році етап консолідації інформаційних баз даних обласних управлінь казначейства, що відкриває можливість їх подальшої централізації на рівні головного апарату Держказначейства;

- єдина державна інформаційна система у сфері запобігання та протидії легалізації (відмиванню) доходів, отриманих злочинним шляхом, і фінансуванню тероризму;

- відомчі системи Державної податкової служби України, Державної митної служби України та ін.

Існуюче сьогодні автономне функціонування окремих складових систем управління державними фінансами не дає змоги забезпечити гармонійний їх розвиток і вирішення на відповідному рівні питання прозорості та публічності, підвищення ефективності використання бюджетних коштів. Це пояснюється тим, що процес створення інформаційних систем органів державної влади зазвичай не є узгодженим і комплексним, не узгоджені способи й методи оброблення та форми представлення інформації, відсутня єдині стандартизація та сертифікація цих елементів інформаційних технологій.

Для забезпечення ефективності управління державними фінансами необхідна інтеграція існуючих і тих, що будуть сформовані в майбутньому, інформаційних систем Міністерства фі-

нансів, Державної казначейської служби, Державної фіскальної служби, Державної фінансової інспекції та інших державних установ на погоджених технологічних засадах. Це дасть можливість створити єдину інтегровану інформаційну інфраструктуру управління державними фінансами.

Нинішня ситуація в Україні, як показали дослідження, характеризується позитивною динамікою щодо створення інтегрованих інформаційних систем. Про це свідчать зміни в законодавстві (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.12.2010 р. № 2250-р «Про схвалення Концепції розвитку електронного урядування в Україні», Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.12.2011 р. № 1363-р «Питання впровадження системи електронної взаємодії органів виконавчої влади») і підписання численних угод співпраці з іноземними державами про запозичення досвіду з електронного урядування. Відсутність інтегрованої системи інформаційних ресурсів та інформаційної взаємодії органів державної влади й органів місцевого самоврядування стримує упровадження електронного урядування в Україні й загалом розвиток інформаційного суспільства.

Для виявлення закономірностей інтеграції ІС, процес упровадження інформаційних систем в управлінні державними фінансами проаналізуємо з моменту регламентування його нормативним документом «Національна програма інформатизації» (НПІ). Відповідно до Постанови Верховної Ради України «Про затвердження завдань Національної програми інформатизації на 1999–2001 рр.» від 13 липня 1999 року № 914-XIV, основними завданнями якої було формування політики та організаційно-правове забезпечення інформатизації й формування національної інфраструктури інформатизації. Наступні Постанови Верховної Ради України, що виходили в 2000, 2002, 2003, 2005, 2010 роках тільки уточнювали й деталізували напрями розвитку інформатизації органів державного управління, які ще не були завершені в попередні роки.

Провівши аналіз виконання НПІ, результати якого викладені нами [19, 20], спостерігаємо тенденцію створення єдиних інтегрованих інформаційно-аналітичних систем для сфери інформатизації фінансової та грошової системи, державного фінансово-економічного контролю. Помітне також вагоме збільшення завдань (проектів) з інформатизації конкретних сфер, а саме стратегічних напрямів розвитку державності, процесів економічного розвитку та фінансового менеджменту.

Однак упровадження проектів інтеграції інформаційних ресурсів фінансових органів виконується з відставанням щодо

термінів, указаних у нормативних документах, передусім, що на сьогодні не існує методології та практичних рекомендацій щодо розроблення систем ЄП для управління державними фінансами.

Узагальнення досвіду впровадження завдань (проектів) НПП показало, що ведеться воно «згори вниз», тобто, починаючи від центральних органів до місцевих. Наприклад, у фінансових установах упроваджуються інноваційні технології спочатку в центральному офісі, потім на обласному й районному рівнях. Такий підхід, як показало дослідження, не завжди ефективний і часто призводить до того, що проекти інформатизації стратегічного спрямування не виконуються в повному обсязі.

Для визначення науково-методичних засад і практичних рекомендацій до створення й підтримки ЄП управління державними фінансами об'єктивною необхідністю є дослідження існуючих інформаційних потоків у сфері взаємодії органів, що управляють державними фінансами. Серед усіх інформаційних потоків, як уже зазначалось, зосередимось на потоках інформації, що циркулюють у бюджетному процесі. Вище також був визначений перелік державних органів, які є учасниками бюджетного процесу. На цій основі спробуємо показати, а далі й дослідити потоки інформації, що циркулюють при складанні та виконанні Державного бюджету. Необхідність розподілити потоки складання та виконання Державного бюджету обґрунтовується тим, що ці потоки проходять у різні календарні періоди, перший і другий календарний рік бюджетного процесу.

Наведена в додатках 1, 2 та 3 інформація у вигляді переліку документів характеризує інформаційні взаємовідносини між державними органами, які управляють процесами Державного бюджету. Проаналізувавши конкретні дані про діючі інформаційні потоки та узагальнивши їх, можемо зробити висновки й дати деякі рекомендації щодо створення й підтримки ЄП для управління державними фінансами, зокрема:

- при управлінні державними фінансами опрацьовуються значні обсяги інформації, що вимагає застосування сучасних продуктивних засобів і прогресивних комп'ютерних технологій;
- технології збирання, накопичення, підтримки, оброблення та використання інформації учасниками бюджетного процесу, на наш погляд, потребують удосконалення;
- інформаційні потоки можна поділяти за видами бюджетних процесів (складання й виконання бюджету, відповідно в перший і другий рік);

– у кожного суб'єкта — державної установи строго визначені за нормативними документами відповідні вхідні та вихідні повідомлення, потоки інформації;

– дотримуючись концептуальних положень проектування й підтримки баз і сховищ даних, можемо стверджувати, що інформація з управління державними фінансами зафіксована у відповідних файлах, які класифікуються як файли постійної й оперативної інформації та архівні бази даних;

– незважаючи на виданий Міністерством фінансів наказ про інтеграцію інформаційних систем учасників бюджетного процесу, нині всі учасники працюють автономно, у зв'язку з чим виникла об'єктивна необхідність і актуальність створення ЄІП для управління державними фінансами.

За результатами проведеного аналізу вітчизняного досвіду в сфері застосування комп'ютерних технологій в управлінні державними фінансами доходимо висновку про необхідність створення ЄІП для вдосконалення управління державними фінансами на основі попереднього моделювання цих процесів і розроблення прогресивних інформаційних технологій на основі використання концепції організації сховищ даних, хмарних технологій, блокчейн-технологій та ін.

З метою запозичення найкращих практик для вдосконалення української СУДФ, проаналізуємо закордонний досвід створення та використання інтегрованих інформаційних систем у державних фінансових органах.

Досвід найуспішніших країн, які запровадили інформаційні технології (Данії, Великобританії, США, Австралії) показав, що в них велика увага приділяється стандартам і протоколам, які повинні гарантувати сумісність державних систем та інформаційних технологій, що робить державні служби ефективнішими, доступнішими й такими, що швидко реагують на потреби громадян.

Наприклад, у Данії «XML-Infostructurebase» виступає в якості центрального сховища веб-служб XML (це, по суті, єдиний інформаційний простір), які допомагають державі, організаціям та окремим громадянам спільно використовувати різні дані, наприклад поштові індекси, номери соціального страхування й медичні відомості [22].

Досвід *Великобританії*. Заслужовує на увагу середовище міжвідомчої взаємодії в Уряді (e-GIF) [23]. Так, у Великобританії значну увагу приділяють стандартам і протоколам, які повинні гарантувати сумісність державних систем і технологій. Ключові стандарти забезпечення сумісності та єдності державних систем

визначені в документі «Середовище міжвідомчої взаємодії в Уряді» (Government Interoperability Framework, e-GIF) і задають основні вимоги для надання інтегрованих онлайн-ових державних послуг. Дотримання цих стандартів є обов'язковим для всіх державних систем. Основним інструментом обговорення й розроблення стандарту e-GIF є веб-вузол www.govtalk.gov.uk, на якому розробники можуть отримати доступ до затверджених XML-схем, а також до необхідних засобів розроблення та документів з описом «кращих практик». Цей веб-сайт підтримки державних стандартів створений з використанням технології Microsoft Share Point Portal Server.

Особливий інтерес становлять підходи *США* до стандартизації в галузі використання інформаційних технологій у державних організаціях [24]. За висновками Федерального уряду США, критично важливу роль у царині ініціатив з реформування та підвищення ефективності роботи державних організацій за рахунок упровадження інформаційних технологій відіграють дві складові: реалізація принципів електронного уряду й концепція корпоративної архітектури державної організації. Без наявності корпоративної ІТ-архітектури неможливо здійснювати керівництво розвитком інформаційних технологій у державних органах, управляти ІТ-інвестиціями. Результатом відсутності такої корпоративної архітектури може стати те, що ініціативи в сфері електронного уряду призведуть до створення ізольованих, роз'єднаних операцій і систем, що своєю чергою, стане причиною безглузлого дублювання й несумісності інформації та додаткового фінансування.

Електронний уряд і федеральна корпоративна ІТ-архітектура надають необхідні складові для досягнення бажаної мети, що виявляється в успішному запровадженні прикладних інформаційних систем для електронного уряду, які, своєю чергою, забезпечать необхідну ефективність і відповідальність у виконанні функцій державного управління, зокрема управління державними фінансами. Основною метою Федеральної ІТ-архітектури державних організацій є забезпечення умов для спільного розроблення процесів, стандартів сумісності та обміну інформацією між державними органами та організаціями.

Федеральна ІТ-архітектура державних організацій включає в себе чотири архітектурні рівні:

- бізнес-архітектура. Основою бізнес-архітектури є опис бізнес-процесів. Вона також описує специфічні процеси всередині кожної функціональної сфери та їх операційні параметри. Ця час-

тина архітектури є точкою дотику між бізнес-архітектурою та архітектурою додатків, вона забезпечує такий погляд на бізнес і функції організації, який достатньо деталізований для того, щоб його можна було використовувати при виробленні стратегії та планів створення додатків;

- архітектура даних, що визначає, які дані необхідні для підтримки бізнес-процесів (наприклад, модель даних);

- архітектура додатків, що визначає, які додатки використовуються і повинні використовуватися для управління даними та підтримки бізнес-функцій (наприклад, моделі додатків);

- технологічна архітектура, що визначає, які технології можуть забезпечити створення середовища роботи додатків, які, своєю чергою, управляють даними й реалізують бізнес-функції.

Відповідно до цього нині в США ведеться розроблення взаємопов'язаних так званих довідкових моделей (Reference Models) для кожного з перелічених рівнів. Ієрархія довідкових моделей у рамках Федеральної ІТ-архітектури державних організацій включає в себе: довідкову модель показників ефективності (Performance Reference Model, PRM); довідкову модель опису бізнесу федеральної організації (Business Reference Model, BRM); довідкову модель сервісних компонентів (Service Component Reference Model, SRM); довідкову модель опису даних (Data Reference Model, DRM); технологічну довідкову модель (Technology Reference Model, TRM).

Реалізація концепції та розроблення Федеральної ІТ-архітектури державних організацій приносять такі переваги, як зменшення дублювання інформаційних систем, забезпечення більшої сумісності й можливостей з інтеграції систем, зменшення вартості інформаційних систем, оптимізація процесів виконання функцій організації, збільшення продуктивності та ефективності роботи, зростання керованості систем, поліпшення в керованості організацій та підтримка процесів перетворень інформації. Усе це можливе за умов запровадження ЄІП у державному управлінні й зокрема в управлінні державними фінансами, на що спрямовані наші дослідження.

Узагальнюючи досвід, ми дійшли висновку, що проекти в галузі надання електронних послуг на державному, муніципальному та відомчому рівнях, які здійснюються урядами різних країн, передбачають такі основні типи стандартів: стандарти даних, стандарти міжвідомчого обміну інформацією, стандарти метаданих (і пошуку інформації), стандарти безпеки. В Україні така стандартизація на сьогодні відсутня, що значно гальмує розвиток

створення ЄІП, а відповідно, і інтегрованої інформаційної систем управління державними фінансами.

Вивчення зарубіжного досвіду та узагальнення існуючих підходів в Україні до організації інформаційної взаємодії органів управління державними фінансами дали підстави сформулювати концептуальні положення щодо вдосконалення СУДФ.

1. Метою вдосконалення СУДФ, на нашу думку, є поліпшення інформаційної взаємодії учасників бюджетного процесу, що повинно досягатися в результаті інтеграції інформаційних інфраструктур основних учасників процесу управління державними фінансами.

2. Першим кроком на шляху формулювання концептуальних положень щодо вдосконалення СУДФ є застосування системного підходу до аналізу проблем підвищення ефективності системи управління державними фінансами, що виявляється в необхідності створення єдиного інформаційного простору(ЄІП) для органів управління державними фінансами. Це потребує визначення мети, завдань, параметрів і функцій ЄІП, побудови та застосування системи адекватних економіко-математичних моделей і сучасних інформаційно-комунікаційних технологій.

3. Єдиний інформаційний простір в управлінні державними фінансами має характеризуватися такими параметрами:

- інформаційні ресурси, якими можуть обмінюватися елементи системи;

- суб'єкти, які інформаційно взаємодіють у системі — органи державної влади, що беруть участь в управлінні державними фінансами. Їх діяльність забезпечує формування та реалізацію державної фінансової політики, однак інституціональна, методологічна та технологічна координація між ними є слабкою та явно недостатньою;

- територія, на якій розташовані об'єкти, що охоплені єдиним інформаційним простором — територія держави;

- нормативно-правові засади організації обміну інформаційними ресурсами між суб'єктами СУДФ;

- засоби обміну інформаційними ресурсами між суб'єктами інформаційної взаємодії.

4. Як показали дослідження, ЄІП в управлінні державними фінансами має виконувати такі функції:

- швидке та надійне отримання інформації з різних джерел;

- надійне, стійке до несанкціонованого впливу зберігання інформації;

- пошук інформації за різними критеріями (за формалізованими та неформалізованими запитами);

– забезпечення доступу користувачів до інформації в будь-який момент часу;

– підтримка заданого рівня безпеки інформації та ін.

5. З метою розроблення концептуальних засад удосконалення СУДФ в Україні, на нашу думку, є доречним запозичення найкращих практик сучасного зарубіжного досвіду створення та використання інтегрованих інформаційних систем у державних фінансових органах.

6. Зважаючи на те, що структура СУДФ є доволі складною, доречно для її опису застосовувати формальні моделі високого рівня абстракції (морфологічну, функціональну, інформаційну).

7. Виходячи з того, що між учасниками процесу управління державними фінансами відбуваються складні інформаційні взаємодії, доцільно, на нашу думку, моделювати їх, виходячи з принципів побудови інформаційних кластерів.

8. Інформаційне навантаження СУДФ доречно визначати за допомогою математичного апарату теорії масового обслуговування для визначення раціональних значень кількісних показників документообігу.

9. Технологічною основою вдосконалення СУДФ має бути інтеграція за «вертикаллю» та за «горизонталлю» наявних інформаційних систем з управління державними фінансами, яку можна розглядати в кількох аспектах: функціональному, інформаційному, програмному, технічному, економічному.

10. Інтеграцію систем управління державними фінансами в окремих суб'єктах доцільно здійснювати на основі новітніх інформаційних технологій: BigData, Blockchain, хмарних технологій та ін.

Організація інформаційної взаємодії має здійснюватися шляхом побудови інформаційно-аналітичних комплексів на ґрунті хмарних технологій. Перенесення електронної інформаційної взаємодії у хмару дає змогу залучати з відносно невеликими матеріальними витратами до неї широке коло користувачів. При цьому мають бути досягнуті максимальні гнучкість та універсальність інформаційного простору, що дасть можливість користувачам отримувати доступ і працювати з контентом, який розміщується й управляється в єдиному віртуальному сховищі.

Для практичного втілення викладених вище концептуальних положень важливим є визначення технологій, за якими це втілення відбуватиметься, зокрема це: організація інформаційно-аналітичного забезпечення, проектування баз і сховищ даних для інтегрованої СУДФ, використання хмарних технологій та

елементів штучного інтелекту в системі управління державними фінансами.

Організація інформаційно-аналітичного забезпечення. Поняття «інформаційно-аналітичне забезпечення» включає дві складові: інформаційна інфраструктура та аналітичне середовище, які взаємопов'язані в процесах управління державними фінансами. Підкреслимо, що основним технологічним процесом управління державними фінансами є саме технології розроблення і виконання Державного бюджету, на чому зосередимо свою увагу. Технології розроблення та виконання Державного бюджету мають інтерактивні ознаки, після кожної інформаційної дії результати оброблення даних заносяться в базу чи сховище даних залежно від наступного їх використання, а також використовуються спеціалістами для аналізу й прийняття рішень, чим і характеризується інформаційно-аналітичне забезпечення системи.

Інформаційну інфраструктуру, на нашу думку, необхідно розглядати як процес збирання, накопичення, оброблення та збереження інформації в базах чи сховищах даних, це власне технологічний аспект створення ЄІП.

Особливостями інформаційної інфраструктури для умов СУДФ є: великі обсяги інформації, що надходять з різноманітних джерел (учасники СУДФ, зовнішні користувачі); різноманітність систем застосування інформації (локальні відомчі системи оброблення інформації користувачами СУДФ, системи організації звітності учасників СУДФ та ін.); різноманітність типів інформації, що застосовуються різними користувачами інформаційних ресурсів СУДФ; велика кількість учасників СУДФ; забезпечення легкості адаптації до змін функціональності учасників СУДФ і змін законодавства; забезпечення відповідності до міжнародних стандартів і вимог міжнародних фінансових інституцій; забезпечення катастрофостійкості.

Концепція інформаційної інфраструктури (Information On Demand) спрямована на своєчасне надання потрібної інформації тим працівникам або процесам, яким вона необхідна, і в той момент, коли це потрібно. Ця концепція приносить реальну користь і скорочує ризики завдяки інтеграції, аналізу й оптимізації всіх типів і джерел інформації впродовж їх життєвого циклу, а також утворює новий рівень сервісів, допомагаючи поліпшити готовність, якість, контекст і гнучкість інформації.

За результатами аналізу світового досвіду пропонуємо використовувати в організації інформаційної інфраструктури технології сервіс-орієнтованої архітектури (SOA) і відкриті галузеві

стандарти інформатизації. Застосування сервіс-орієнтованої архітектури повинно забезпечити розділення функціональності програмних додатків на окремі компоненти — Web-сервіси, що підтримують можливість повторного застосування. Повторне застосування Web-сервісів згідно з визначеною бізнес-логікою дає змогу автоматизувати бізнес-процеси будь-якої складності, а також легко адаптуватися до зміни існуючих бізнес-процесів. Використання відкритих стандартів інформатизації дає можливість уникнути залежності від однієї бази даних, операційної системи або серверної платформи. Таким чином, незалежно від вихідної системи або формату інформації, SOA допомагає забезпечити її своєчасність, точність і вірогідність.

В організації технології накопичення інформації суттєве значення мають засоби завантаження даних, які визначаються залежно від кількості джерел даних, їх обсягів та якості. Процес завантаження даних до сховища є не простим копіюванням, бо під час завантаження здійснюється контроль якості даних, що забезпечує перевірку визначених критеріїв на повноту, підвищення достовірності інформації та надійності рішень у СУДФ. У результаті завантаження інформації, що надійшла з різних джерел, приводяться до єдиних форматів даних з метою зберігання. Дані, що пройшли перевірку, завантажуються до сховища один раз і надалі зберігаються постійно без змін.

Базисом завантаження даних у СУДФ повинна бути єдина відкрита інтегрована технологічна платформа, до складу якої мають входити такі компоненти: сервер Web-додатків, сховище даних, аналітичне середовище, портал, середовище розроблення програмних додатків.

Щодо організації сховища даних, то в результаті аналізу існуючих підходів [9] вважаємо за доцільне підтримку для СУДФ сховища даних, яке повинно бути основою інформаційно-аналітичної системи й має забезпечувати високотехнологічні засоби аналізу даних, що дасть змогу значно підвищити якість управлінських рішень, ефективність взаємодії між учасниками СУДФ, а також повинно бути багатофункціональною системою для збирання, оброблення, збереження та подання кінцевому користувачу необхідного обсягу інформації для прийняття управлінських рішень. Сховище даних як система орієнтована на аналітичне оброблення даних (OLAP). Іншими словами — це система підтримки прийняття рішень (СППР), у якій накопичується інформація для її аналізу, при цьому попередні дані не корегуються, що дає можливість отримати зведення на задану

дату. На вибір сховища даних з такими характеристиками вплинули такі основні риси: предметна орієнтація, інтегрованість, підтримка хронології, незмінність. До числа можливостей і функцій сховища даних у нашому випадку мають входити такі основні елементи:

- інтеграція даних, за якої сховище даних повинно забезпечувати механізми збирання даних з різноманітних інформаційних джерел (внутрішніх і зовнішніх), очищення даних, завантаження даних до сховища, контролю якості первинних даних, збереження великих обсягів інформації;

- оперування даними, що зберігаються в сховищі даних таким чином, щоб забезпечувати формування у режимі реального часу інформації різного рівня складності та деталізації в довільній формі;

- безпека інформації, яка забезпечується механізмами захисту інформації від несанкціонованого доступу, руйнування тощо.

Для підтримки сховища даних у департаменті інформатизації державної установи має бути створений спеціальний підрозділ, функціями якого мають бути:

- визначення структури та форматів даних, що зберігатимуться в сховищі даних;

- створення інтерфейсів для отримання інформації з різних джерел;

- адміністрування баз даних і доступу до сховищ даних;

- взаємодія з функціональними департаментами з питань визначення потоків даних, стандартних форм звітів і методів їх аналізу;

- створення «вітрин даних»;

- моніторинг використання даних.

До цих функцій також належать управління захистом інформації від несанкціонованого доступу й пошкодження та аудит дій користувачів, а також копіювання даних.

Як показали результатами проведеного узагальнення, сукупність наведених вище робіт доцільно здійснювати в три етапи. На першому етапі аналізуються інформаційні потоки та бази даних, що функціонують в органах управління державними фінансами. Одночасно формуються вимоги до сховища даних з урахуванням особливостей потенційних її користувачів. На другому етапі проводиться повна інвентаризація економічних показників і вихідних форм; проектується логічна та фізична структура сховища даних; розробляється опис процедур приймання, вивірення та очищення вхідної інформації; здійснюється адаптація або розроблення методик аналізу показників; обґрунтовується вибір про-

грамного забезпечення з урахуванням потреб фінансових органів; визначається план робіт з адаптації проектних рішень у реальність СУДФ. На третьому етапі розробляються та впроваджуються функціональні підсистеми; створюється депозитарій; запроваджуються процедури приймання вхідної інформації; здійснюється наповнення сховища даних з різних джерел; генеруються пробні варіанти форм звітностей; будуються «вітрини даних», реалізуються розроблені методи аналізу та приймаються виважені управлінські рішення.

Подальшим стратегічним напрямом розвитку сховища даних є створення методик для запровадження аналітичного середовища.

Аналітичне середовище включає процеси доступу до інформації, отримання, аналізу й узагальнення її для прийняття управлінських рішень. У межах виконуваного дослідження ці процеси розглядатимемо для умов створення ЄІП для управління державними фінансами.

Основою аналітичного середовища є набір методик оброблення даних та їх агрегатів, засоби їх подання в зручній формі для розгляду. Ця підсистема включає: засоби створення запитів довільного змісту, подання інформації у формі діаграм і графіків, «вітрини даних» для забезпечення потреб функціональних підрозділів, технології складання звітів, економіко-математичні методики аналізу показників і прогнозування рішень. «Вітрини даних» — це набір економічних показників і звітних форм, що спроектовані для вирішення конкретних завдань та оптимізовані з метою використання відповідними групами користувачів. Загалом можемо стверджувати, що аналітичне середовище включає процеси доступу до інформації, отримання й аналізу її для прийняття управлінських рішень.

Аналітичне середовище повинно мати такі можливості:

- аналіз і звітність з різним ступенем деталізації за допомогою механізму OLAP і забезпечення підготовки регламентних звітів (зокрема з використанням Web-технологій) для прийняття управлінських рішень;

- планування та моделювання, яке повинно реалізовувати зв'язок між стратегією розвитку та оперативними цілями, забезпечувати засоби моделювання стратегічних показників з управління державними фінансами;

- відкритість, що підтримується стандартами, наприклад XML, XML for Analysis (XMLA), OLE DB for OLAP (ODBO), Common Warehouse Metadata Interchange (CWM), Java 2 Platform Enterprise Edition (J2EE), інтерфейси JDBC;

- розширюваність, що забезпечується інструментами й інтерфейсами для вдосконалення та розширення існуючого бізнес-вмісту;
- персоналізація — середовище повинно мати засоби персоналізації бізнес-вмісту та способів доступу до нього згідно з конкретними задачами й індивідуальними запитами користувача, при цьому забезпечувати повну відповідність вимогам корпоративної політики безпеки.

Управлінські рішення завжди націлені на відповідний об'єкт або сукупність об'єктів, управління якими здійснюється. У нашому дослідженні таким об'єктом є Державний бюджет — головна складова в сфері управління державними фінансами. Тому основна частка технологічних процесів з управління державними фінансами націлена на розроблення та виконання Державного бюджету. Розглянемо докладно технологічні процеси занесення інформації в бази й сховище даних після кожної інформаційної дії, укажемо, куди заноситься інформація в умовах підтримки єдиного інформаційного простору на стадіях розроблення та виконання Державного бюджету. Зупинимось на технології розроблення Державного бюджету. Відомо, що розроблення Державного бюджету здійснюється впродовж року, попереднього плановому, при цьому на кожному етапі бюджетного процесу виконуються відповідні роботи, перелік яких строго визначений нормативними документами [4, 8]. У процесі виконання цих робіт між учасниками бюджетного процесу, як було досліджено, проходять складні інформаційні взаємодії. За результатами аналізу цих інформаційних взаємодій і з урахуванням принципів розподілу інформації між базами й сховищами даних, розроблена схема інформаційної взаємодії Міністерства фінансів і головних розпорядників коштів для умов ЄП (рис. 2).

На Міністерство фінансів покладено головні повноваження з розроблення Державного бюджету України, відповідно до яких воно здійснює інформаційні взаємодії з головними розпорядниками коштів та іншими учасниками бюджетного процесу. Так, ГРК за участю розпорядників державних коштів нижчого рівня опрацьовують проекти програмної класифікації й направляють їх до Міністерства фінансів, де проводять узагальнення за даними пропозицій і формують єдині класифікатори програмної та функціональної класифікації. Ці класифікатори заносять у сховище даних для підтримки їх і загального користування всіма учасниками бюджетного процесу. Крім класифікаторів, Міністерство фінансів заносить у сховище форми бюджетних запитів і методичні документи й нормативи для їх підготовки.

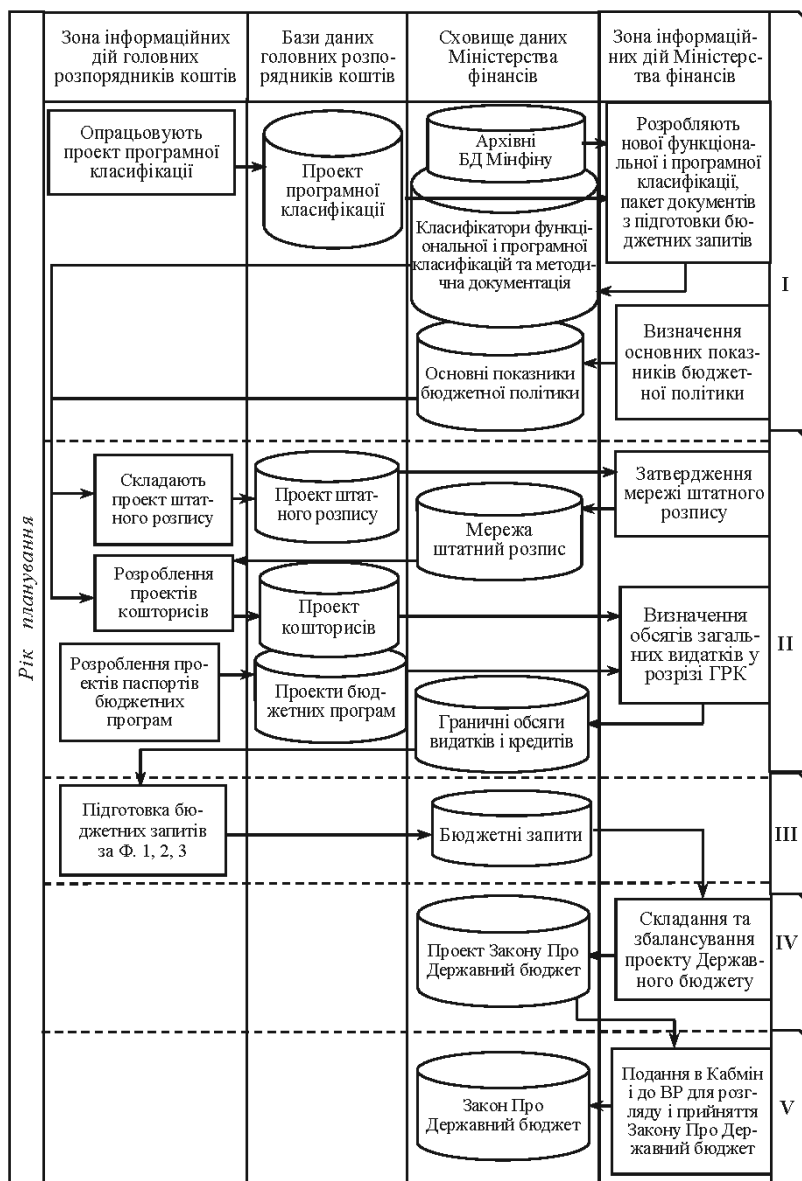


Рис. 2. Технологія інформаційної взаємодії Міністерства фінансів і головних розпорядників коштів при розробленні Державного бюджету

Джерело: розроблено авторами

Мінфін також розробляє разом з Мінекономрозвитку і НБУ основоположний політичний документ «Основні показники бюджетної політики» та направляє його через сховище даних для використання головним розпорядникам коштів як базового документа при складанні та зведенні кошторисів.

За результатами виконання наведених вище процедур інформаційної взаємодії між Мінфіном і ГРК, що відносяться до першого етапу бюджетного процесу, здійснюються формування й підтримка в сховищі даних, крім архівних, такі бази даних: класифікатори функціональної та програмної класифікації, методичні документи з підготовки бюджетних запитів, основні показники бюджетної політики. Описані інформаційні взаємодії знайшли відображення на рис. 2 як перший етап технології розроблення Державного бюджету.

Використання хмарних технологій у системі управління державними фінансами. Технологія управління державними фінансами змінюватиметься шляхом поступового переходу від формування та передачі паперових документів і відповідних електронних файлів до роботи з єдиною інтегрованою інформаційною базою даних в інтерактивному режимі з використанням веб-технологій. Такий підхід забезпечить створення відповідного уніфікованого механізму доступу й управління інформацією в різних інформаційних середовищах. Усе це дасть змогу підняти на новий якісний рівень функціонування сучасної системи управління державними фінансами.

Як було досліджено в концептуальних положеннях технологій підтримки ЄПІ управління державними фінансами, під хмарними рішеннями для умов СУДФ розуміють модель реалізації повсюдного й зручного мережевого доступу за необхідності до загального пулу конфігурованих обчислювальних ресурсів (наприклад, мереж, серверів, систем зберігання, додатків і сервісів), які можуть бути швидко надані й виділені з мінімальними зусиллями в управлінні та потребою взаємодії з провайдером послуг (сервіс-провайдером). Така модель підтримує високу доступність сервісів й описується наведеними нижче категоріями.

А. Характеристиками (Essential Characteristics):

1. Сервіс самообслуговування за необхідності (On-Demand Self-Service). Дає змогу індивідуально формувати такі параметри, як швидкість доступу, серверний час, швидкість оброблення інформації, можливість самостійного управління обсягом збережених даних тощо.

2. Вільний мережевий доступ (Broad Network Access). Забезпечує вільний доступ з будь-яких категорій термінальних пристроїв, зокрема й з мобільних пристроїв.

3. Пул ресурсів (Resource Pooling). Об'єднує ресурси в єдиний пул для можливості динамічного перерозподілу комп'ютерних потужностей між користувачами відповідно до потреб і географічного розташування.

4. Швидка еластичність (Rapid Elasticity). Користувачі взаємодіють з хмарою повністю в автоматизованому режимі, що дає можливість оперативно користуватись послугами.

5. Вимірний сервіс (Measured Service). Автоматично веде облік використання ресурсів, включаючи пропускну спроможність, обсяг даних, що зберігається, кількість користувачів тощо.

Б. Трьома сервісними моделями — моделями надання послуг (Service Models):

1. Простір як послуга (Cloud Infrastructure As a Service, IAAS).

2. Платформа як послуга (Cloud Platform As a Service, PAAS).

3. Програмне забезпечення як послуга (Cloud Software As a Service, SAAS).

В. Чотирма моделями розгортання (Deployment Models):

1. Приватна хмара (Private Cloud).

2. Хмара співтовариства, або загальна хмара (Community Cloud).

3. Публічна хмара (Public Cloud).

4. Гібридна хмара (Hybrid Cloud).

Розкриємо особливості сервісних моделей надання послуг.

Простір як послуга (IAAS) передбачає надання споживачеві апаратних засобів оброблення та зберігання даних, мереж та інших базових ресурсів, завдяки яким споживач може інсталиувати й використовувати довільне програмне забезпечення, зокрема й операційні системи.

Платформа як послуга (PAAS) включає розміщення на боці провайдера як технологічної інфраструктури (сервера), так і програмної платформи: операційних систем, систем управління базами даних, тестувальних систем.

Програмне забезпечення як послуга (SAAS) полягає в наданні серверів з набором необхідного програмного забезпечення в середовищі хмарного провайдера. При цьому споживач не управляє й не контролює саму хмарну систему. Іноді йому може бути надано можливість доступу до користувацьких конфігураційних налаштувань.

Моделі розгортання призначені для надання деяких сервісів.

Приватна хмара — це простір, який забезпечує обслуговування лише однієї організації. Вона може управлятися самою організацією або іншою стороною і може існувати як на боці споживача (on premise), так і у зовнішнього провайдера (off premise) [17].

Приватна хмара може стати центром інформаційної взаємодії головного розпорядника коштів (ГРК). Основу її становитимуть апаратні, програмні та адміністративні ресурси головного розпорядника коштів за наявності відповідної віртуальної приватної мережі (VPN). Існуючі сервери, пристрої зберігання даних і мережі інтегруються в приватну хмару за допомогою спеціальних додатків, які роблять можливим використання існуючих ресурсів з функціональністю хмари, отримуючи на виході повноцінну масштабованість та автоматизоване обслуговування користувачів системи.

Залежно від завдання в таку приватну хмару можуть виноситись різні додатки. При цьому головний розпорядник бюджетних коштів забезпечуватиме належний рівень захисту даних. До позитивних сторін приватної хмари можна віднести: високу швидкість масштабування апаратних ресурсів; знижені витрати на функціонування ІТ-сервісів, за рахунок повноцінної автоматизації; ефективний перерозподіл комп'ютерних ресурсів між користувачами; ретельний моніторинг використання апаратних і програмних ресурсів усередині організації; можливість точно спрогнозувати бюджет на підтримку й масштабування базових ресурсів між користувачами.

При цьому з метою зниження навантаження й підвищення ефективності діяльності частину документообігу можна перенести в іншу (публічну, гібридну) хмару.

Хмара співтовариства використовується спільно кількома організаціями зі спорідненими обчислювальними (інформаційними) ресурсами та завданнями. При цьому, завдяки взаємній довірі, забезпечується вищий рівень конфіденційності та захисту інформації, ніж у публічній хмарі. Така хмарна інфраструктура може управлятися самими організаціями або третьою стороною й існувати як на стороні споживача, так і у зовнішнього провайдера. У нашому випадку хмара товариства може забезпечувати документообіг між головними учасниками бюджетного процесу: Міністерством фінансів і Державною казначейською службою.

Публічна хмара належить до моделі хмарних технологій, у якій провайдер надає відповідні ІКТ-ресурси для широкої аудиторії Інтернету. Сервіси публічної хмари зазвичай пропонуються на уже використовуваній моделі.

Гібридна хмара є композицією (поєднанням) двох і більше хмар попередніх типів (приватних, співтовариства або публічних). При цьому хмари, що входять до її складу, залишаються унікальними сутностями та об'єднуються відповідними технологіями для забезпечення належного рівня обміну даних між ними [17].

Гібридні моделі хмар дають змогу організаціям зберігати конфіденційність своїх даних у межах локальних центрів оброблення даних, передаючи менш конфіденційні дані в хмару для економії витрат і ширшого доступу [14].

Гібридна хмара є найефективнішим сервісом при організації інформаційної взаємодії між центральними органами та органами місцевого самоврядування. Вона може створюватись на базі приватної хмари центрального органу й публічної хмари.

Щодо досліджуваної сфери управління державними фінансами, то технологічний рівень сучасних апаратних і програмних комплексів повністю дає можливість перенести електронну інформаційну взаємодію державних фінансових органів у хмару.

Об'єднання хмарних сервісів різного типу є неминучим для створення ЄІП-управління державними фінансами. Державним фінансовим органам слід розробляти приватні хмарні сервіси з розрахунком на подальшу гібридизацію, прогножуючи майбутню інтеграцію та передбачаючи кошти на забезпечення інтероперабельності (здатність інформаційних систем взаємодіяти одна з одною). Управління компонуванням таких сервісів повинні здійснювати спеціальні провайдери, які відповідають за їх агрегацію, інтеграцію та адаптацію до конкретних завдань. Якщо говорити про міжвідомчу електронну взаємодію, то всі відомчі системи взаємодіють й обмінюються інформацією між собою з використанням веб-сервісів. Більшість цих систем також не вимагає інсталяції на робочому місці додаткового програмного забезпечення, бо функціонують на основі Інтернет-браузера.

Одним з прикладів використання хмарних технологій у державних органах України є надання Державною податковою службою України (ДПС) електронних послуг платникам податків засобами «Електронного кабінету платника податків (ЕКПП)» у складі інформаційної системи «Податковий блок».

ЕКПП дає можливість платникам податків безоплатно підготувати й подати в режимі реального часу до органів ДПС електронну звітність, а також переглянути інформацію щодо стану їх розрахунків з бюджетом, зокрема інформацію про заборгованість зі сплати податків і зборів. Ця система — це персональне автома-

тизоване робоче місце платника податків, працювати в якому він може без використання спеціально встановленого клієнтського застосування.

Однак це лише один з небагатьох випадків ефективного використання хмарних технологій в державному управлінні в Україні. Можна навести безліч прикладів потреби й доцільності переведення документообміну державних органів у хмарні системи.

Новий якісний рівень могли б забезпечити хмарні технології при організації інформаційної взаємодії державних органів з органами місцевого самоврядування. Так, згідно з Бюджетним кодексом місцеві фінансові органи здійснюють функції зі складання та виконання місцевих бюджетів, контролю за витратами коштів розпорядниками бюджетних коштів, а також інші функції, пов'язані з управлінням коштами місцевого бюджету [4]. Це зумовлює великий потік документів між відповідними фінансовими управліннями на державному рівні й місцевими органами самоврядування.

Нині з'явилися новітні технології, які надають унікальні можливості державним установам. Такою інноваційною технологією є «блокчейн» (Blockchain) розподілена база даних, яка містить інформацію про всі транзакції, які були проведені користувачами системи. Інформація зберігається у вигляді «ланцюга блоків», у кожному з яких записано визначена кількість транзакцій.

Основна властивість цієї системи — це розподіленість, або децентралізованість. Немає єдиного місця, де зберігаються всі записи. Реєстр зберігається одночасно у всіх учасників системи й автоматично оновлюється при кожній внесеній зміні. Усі користувачі виступають так званим колективним нотаріусом, який підтверджує істинність інформації в базі даних.

Усі технології, які були використані для створення «блокчейн», програмістам і математикам були відомі давно. Прорив полягає в тому, що «блокчейн» усе це об'єднав в одну працюючу систему, яка має низку дуже привабливих властивостей: децентралізованість, публічність, необхідність узгодженої роботи (суміжних дій) учасників для створення нових блоків.

Розглянемо докладніше сутність «блокчейн» з позиції інформаційних технологій. Нехай дана деяка система, для якої визначено набір дискретних станів. Стани системи можуть змінюватися в послідовні дискретні моменти часу. На кожному кроці зміна у стані системи відбувається в результаті деякої транзакції (зміни атомарного стану системи), що в сукупності визначає еволюцію цієї системи. Протокол «блокчейн» призначений для докладного

й добре захищеного запису такої еволюції. Запис здійснюється розподіленим чином — на всіх або на частині вузлів мережі, що утворюють систему. Для цього моменту часу «блокчейн» (ланцюжок блоків записів транзакцій) дає змогу отримати інформацію про будь-яку попередню транзакцію (рис. 3). Серед іншого, це дає змогу переконаватися, що всі попередні транзакції були коректними, а отже, і поточний стан є коректним. Причому чим далі за часом від поточного моменту знаходиться обрана транзакція, тим важче зловмисникові підмінити запис про неї так, щоб це було непомітно для агентів у вузлах мережі (оскільки треба змінити зашифровані записи в усіх блоках — від підміненої транзакції до поточного моменту часу).

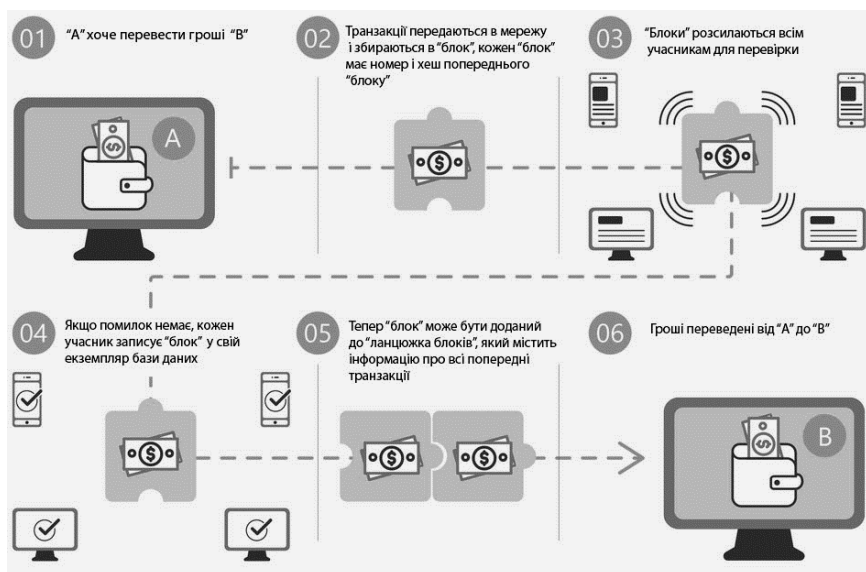


Рис. 3. Технологія «блокчейн» на прикладі електронних грошей

Джерело: розроблено авторами

Іншими словами, «блокчейн» — це журнал з фактами, що реплікуються на кілька комп'ютерів, об'єднаних у мережу рівноправних вузлів (P2P). Фактами може бути що завгодно — від фінансових операцій до підписання контенту. Члени мережі — анонімні особи, які називаються вузлами. Усі комунікації всередині мережі використовують криптографію, щоб надійно

ідентифікувати відправника й одержувача. Коли вузол хоче додати факт у журнал, у мережі формується консенсус, щоб визначити, де цей факт повинен з'явитися в журналі; цей консенсус називається *блоком*.

«Блокчейн» можна розділити на групи відповідно за доступом до його даних (рис. 3). За доступом до читання транзакцій «блокчейн» поділяється таким чином: відкритий «блокчейн», у якому не існує обмежень на читання даних блоків (при цьому дані можуть бути зашифровані) і обмежень на відсилення транзакцій для включення в «блокчейн»; закритий «блокчейн», у якому прямий доступ до даних і до відправки транзакцій обмежений певним списком екзаунтів. За доступом до оброблення транзакцій «блокчейн» поділяється таким чином: загальнодоступний (інклюзивний) «блокчейн», у якому не існує обмежень для обробників транзакцій (тобто, екзаунтів, які можуть створювати блоки транзакцій); ексклюзивний «блокчейн», у якому оброблення транзакцій здійснюється визначеним списком екзаунтів.

Таким чином, можна зробити висновок, що приватні «блокчейни» надають цікаві можливості для державного управління, даючи змогу застосовувати прозору технологію для внутрішнього користування. Тобто, приватні «блокчейни» можуть стати базою для «блокчейн»-інновацій у сервісах, які використовують реєстри або системи фінансового обліку.

Уряди вже розуміють, що «блокчейн» — це ідеальний засіб для оптимізації власних реєстрів. Великі можливості «блокчейн» відкриває для державних органів. Навесні 2016-го року було почато роботи над проектом земельного кадастру на основі «блокчейн» для Грузії. Крім того, що використання «блокчейн» підвищить рівень безпеки та значно прискорить процес дистанційного оформлення документів, що також повинно знизити вартість реєстрації прав на землю, причому доволі відчутно — у середньому з 50–200 доларів до 5–10 центів.

Політики, які прагнули зробити прозорішим і надійнішим інститут приватної власності в Гондурасі, попросили американський «блокчейн»-стартап Factom розробити земельний кадастр на основі нової технології. Інтерес до ідеї проявив також уряд Греції, що перебуває у важкому фінансовому становищі: земельний кадастр країни адекватно відображає тільки 7 % її території.

Команда Фонду інновацій та розвитку в Україні готується до проведення першого в світі Blockchain-аукціону. Учасники групи, яка брала участь у створенні системи електронних держав-

купівель Prozorro, підготували до комерційного запуску новий проект — децентралізовану електронну систему аукціонів держмайна e-Auction 3.0, що ґрунтується на технології Blockchain [25]. Ідея створити e-Auction 3.0 з'явилася після успіху Prozorro, яка заощадила державі 1,4 млрд грн.

До фонду підключилася харківська ІТ-компанія Distributed Labs. Вона на волонтерських засадах допомогла з написанням ядра й протоколу Blockchain-аукціону. А хмарне рішення для тестів зберігання та оброблення даних надав Microsoft Azure. За словами менеджера проекту електронних аукціонів Лаші Антадзе система допоможе державі залучити приватних посередників — онлайн-майданчики в сферу приватизації та оренди держактивів, продажу ліцензій.

Отже, серед переваг застосування технології blockchain для використання в управлінні державними фінансами можна назвати такі:

- дуже високий ступінь захисту транзакцій, яка досягається постійним контролем абсолютно всіх здійснених операцій у системі за весь час її існування та асиметричним шифруванням даних, що передаються між учасниками мережі;

- підвищений рівень прозорості даних, які перебувають у постійному публічному доступі, що разом з неможливістю зміни вже записаних даних, сприяє боротьбі з корупцією.

Проведене дослідження СУДФ дає можливість стверджувати, що створення ЄІП, застосування хмарних технологій і технологій blockchain в управлінні державними фінансами України сприятиме вирішенню актуальних питань підвищення рівня автоматизації функцій органів управління державними фінансами, дасть змогу надавати швидкий та ефективний доступ до фінансових даних і зумовить зміцнення державного фінансового контролю, вдосконалення порядку надання державних послуг, підвищення прозорості та підзвітності бюджетного процесу, прискорити урядові операції загалом шляхом поступового переходу від формування та передачі окремих електронних файлів до роботи зі сховищем даних в інтерактивному режимі з використанням веб-технологій. Запровадження інноваційних комп'ютерних технологій в управління державними фінансами дозволить уряду не тільки здійснювати ефективний контроль над державними фінансами, стримуючи корупцію та шахрайство, а також надасть змогу нашій державі застосовувати технології електронного урядування тим самим прискорити євроінтеграційний процес.

Література

1. *Базилевич В. Д., Баластрик Л. О.* Державні фінанси: Навч. посібник. — К.: Атіка, 2002. — 368 с.
2. *Булгакова С. О., Василенко Л. І., Єрмошенко Л. В., Александров В. Т., Недбаєва С. М.* Державні фінанси: Фінанси. Бюджетна система України: У 5-ти томах. — К.: НВП «АВТ лтд.», 2004. — 400 с. — (Інтегрований навчально-атестаційний комплекс).
3. *Буньківська О. В.* Інформаційний простір: соціокультура, сутність, стан та проблеми функціонування в Україні: автореф. дис. канд. мистецтвознав.: 26.00.01 / О. В. Буньківська; Київ. нац. ун-т культури і мистецтв. — К., 2009. — 19 с.
4. «Бюджетний кодекс України» № 2456-VI від 8 липня 2010 року. Відомості Верховної Ради України, 2010, № 50-51. Електронний ресурс. — Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2456-17>
5. *Василик О. Д., Павлюк К. В.* Державні фінанси України: Підручник. — К.: Ніос. — 2002. — 608 с.
6. *Венгер В. В.* Фінанси: Навч. посібник. — К.: Центр учбової літератури, 2009. — 432 с.
7. *Гроші. Фінанси. Кредит: Навч. посібник [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Александрова, С. О. Маслової; [За ред.: Г. Г. Кірейцев].* — 2-ге вид., перероб. і допов. — К.: ЦУЛ, 2002. — 335 с.
8. Закон України «Про Державний бюджет України на 2016 рік» від 25 грудня 2015 № 928-VIII. Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/928-19/page>.
9. *Вільям Г. Інмон* «Побудова сховища даних», 4-те видання, Хобо КЕН, Нью-Джерсі: Вілій, 2005 р. — 576 с.
10. *Кармелюк І. М.* Розвиток інформаційного простору як запорука вдосконалення управління державою власним гуманітарним капіталом. // Теорія та практика державного управління. — Вип. 3 (26), 18.03.2009 р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/portal/Soc_Gum/Tpdu/2009_3/doc/3/12.pdf
11. *Клімушин П. С.* Інтеграція інформаційного простору України у світову інформаційну спільноту, 14.01.2010. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/portal/Soc_Gum/Tpdu/2010_2/doc/5/03.pdf.
12. *Макшишко М. К., Баитанник О. І.* Реінжиніринг інформаційного простору місцевого самоврядування // Держава та регіони: Економіка та підприємництво. — 2012 р. — № 2.
13. *Машлыкин В. Г.* Европейское информационное пространство. — М.: Наука, 1999. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://isn.rsuh.ru/iu/m4.htm>.

14. *М. Тим Джонс*. Анатомия облачной инфраструктуры хранения данных. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/cl-cloudstorage/>
15. *Олійник О. В.* Організаційно-правові засади захисту інформаційних ресурсів України: Автореф. дис... канд. юрид. наук: 12.00.07 / О. В. Олійник; Ін-т законодавства Верхов. Ради України. — К., 2006. — С. 20.
16. *Опарін В. М.* Фінанси (Загальна теорія): Навч. посібник. — 2-ге вид., доп. і перероб. — К.: КНЕУ, 2002. — 240 с.
17. Определение Облачных Вычислений (Драфт) Рекомендации Национального Института Стандартов и Технологий (США). — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://cloud.sorlik.ru/definition.html>.
18. *Сендзюк М. А.* Інформаційні системи в державному управлінні: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2004. — 339 с.
19. *Тищенко О. В.* Розвиток інформаційних систем державних органів відповідно до Національної програми інформатизації / О. В. Тищенко // Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту. Економічні науки: Зб. наук. праць. — 2013. — № IV (52) — С. 344–351.
20. *Тищенко О. В.* Розвиток інформаційних систем та технологій державних органів відповідно до Національної програми інформатизації / О. В. Тищенко // Дні інформаційного суспільства-2012: Матеріали наук.-практ. конф. за міжнародною участю, 24–25 квітня 2012. — К., 2012. — С. 11.
21. *Ковальов В. В.* Управління фінансами. — 2-е вид. — М.: Проспект, 2004. — С. 36–59.
22. *A. Di Maio*. Danish Government Bets on Web Services. — Gartner Research. — 2003, March 21. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.bus.umich.edu/KresgePublic/Journals/Gartner/research/113800/113842/113842.pdf>
23. e-Government Interoperability Framework (e-GIF). [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://xml.coverpages.org/egif-UK.html>
24. Federal Enterprise Architecture (FEA). [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.whitehouse.gov/omb/e-gov/fea/>
25. <https://e-auction.ua/>

ОСНОВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ПОТОКИ МІЖ МІНІСТЕРСТВОМ ФІНАНСІВ І ГОЛОВНИМИ УЧАСНИКАМИ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНИМИ ФІНАНСАМИ

Міністерство фінансів		
Учасники процесу	Отримує від інших учасників	Надає іншим учасникам
Кабінет Міністрів	Схвалені Основні напрями бюджетної політики. Закон про Державний бюджет	Проект Основних засад бюджетної політики; Проект закону про Держбюджет; Зауваження та доповнення до закону про Держбюджет; Звіт про виконання закону про Держбюджет
Міністерство економіки	Дані про кінцевих споживчих витрат домашніх господарств. Роздрібний товарооборот; Індекс обсягів промислового виробництва, Індекс цін виробників промислової продукції; валове нагромадження основного капіталу. Імпорт товарів та послуг; інвестиції в основний капітал; валову додану вартість	Бюджетна політика та звіти щодо її виконання Прогноз обсягів державних запозичень Прогнозні показники для прогнозу та програми економічного та соціального розвитку
Національний банк України	Дані про імпорт та експорт товарів Інформацію про обмінний курс. Звіт та прогноз платіжного балансу	Звіт про виконання бюджету; Прогнозні показники державних запозичень
Державна казначейська служба	Показники виконання державного та місцевих бюджетів. Дані щодо погашення та обслуговування державного боргу. Інформацію про перерахування до державного бюджету коштів та отримані кредити.	Розпис державного бюджету та зміни до нього; бюджетну класифікацію та зміни до неї; дані про структуру та розміри державного боргу; інформацію про стан заборгованості перед державою
Державна фінансова інспекція	Відомості про порушення витрат бюджетних коштів; відомості про стягнення до державного бюджету при виявленні порушень	
Державна фіскальна служба	Показники податкової звітності: прогнозні обсяги надходження податків; дані про стан розрахунків зі сплати податків, зборів та обов'язкових платежів; суми ПДВ, заявлені платниками до відшкодування; дані про фактичне надходження держбюджету, які включають митні збори; прогнозні обсяги надходження митних зборів	Інформацію щодо боргових зобов'язань за кредитами Інструкції щодо надання прогнозної та звітної інформації Інструкції щодо надання прогнозної та звітної інформації
Фонд держмайна	Надходження коштів від приватизації; очікувані обсяги надходжень від приватизації; прогнозний розрахунок надходжень від оренди держмайна	Інструкції щодо надання прогнозної та звітної інформації
Фінансові управління	Дані для розрахунку міжбюджетних трансфертів	Інструкції щодо складання бюджету
Головні розпорядники коштів	Пропозиції щодо прогнозних обсягів видатків; Бюджетні запити, розпис асигнувань та кошториси; Паспорти бюджетних програм та їх виконання	Граничні обсяги видатків і затверджені показники видатків на плановий рік

**ОСНОВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ПОТОКИ МІЖ ДЕРЖАВНИМ КАЗНАЧЕЙСТВОМ
І ГОЛОВНИМИ УЧАСНИКАМИ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ БЮДЖЕТУ**

Державне Казначейство		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Учасники процесу</i>	<i>отримує від інших учасників:</i>	<i>надає іншим учасникам:</i>
Верховна Рада України, Кабінет Міністрів України		Місячна звітність Звіти про виконання Держбюджету України: за доходами; за видатками; за повернення щодо кредитів до ДБУ та надання кредитів з ДБУ; по фінансуванню ДБУ за типом боргового зобов'язання; фінансування ДБУ за типом кредитор; Звіти про виконання Держбюджету України: за видатками (за кодами функціональної та економічної класифікації); Звіти про виконання Зведеного бюджету України: за доходами; за видатками (за кодами функціональної та економічної класифікації); Інформація про виконання захищених статей видатків Держбюджету України Інформація про використання коштів з резервного фонду Держбюджету України Квартальна звітність Звіти про виконання Державного бюджету України; Звіти про виконання Зведеного бюджету України; Звіт про заборгованість бюджетних установ
Верховна Рада України		Місячний звіт про заборгованість бюджетних установ Оперативні дані про надходження окремих податків, зборів та інших обов'язкових платежів «Інформація про використання коштів з резервного фонду»; «Звіт про заборгованість бюджетних установ»
Кабінет Міністрів України		Оперативний звіт виконання загального фонду Держбюджету України Асигнування загального фонду Державного бюджету України в розрізі економічної класифікації видатків
Фонд Державного Майна	Платіжні доручення, підготовлені Фондом Державного майна	Виписки з рахунків Фонду Державного майна Акти звірки надходжень коштів від приватизації майна

Державне Казначейство		
1	2	3
Державна фіскальна служба України	Списки складу платників податків, які перебувають на податковому обліку в кожному районі та зміни до них Акти звірки надходжень до державного бюджету та місцевих бюджетів за всіма кодами бюджетної класифікації Реєстри про повернення надміру утриманої (сплаченої) суми податку з доходів фізичних осіб Відомості про склад і розташування митних органів і зміни до них Акти звірки надходжень, перерахованих митними органами в розрізі кодів бюджетної класифікації	Інформація про реквізити відкритих рахунків для зарахування платежів до Державного та місцевих бюджетів; відомості про зарахування та повернення коштів з аналітичних рахунків за доходами; відомість N2 розподілу платежів до бюджету, які надійшли на рахунки 3311 «Кошти, які підлягають розподілу між державним та місцевими бюджетами»; виписки з рахунків у вигляді електронного реєстру розрахункових документів; інформація щодо зарахування коштів в іноземній валюті Акти звірки надходжень до державного бюджету за всіма кодами бюджетної класифікації; довідник адміністративно-територіальних одиниць України; інформація про стан простроченої заборгованості перед державним бюджетом за іноземними кредитами; інформація про реквізити відкритих рахунків для зарахування митних платежів Електронний реєстр виписок з рахунків для зарахування митних платежів; звіт про зарахування коштів за доходами; акти звірки надходжень, перерахованих митними органами в розрізі кодів бюджетної класифікації
Державна фінансова інспекція України		Організація автоматизованого доступу органів державної контрольно-ревізійної служби до інформаційних ресурсів АС «Казна-В» у режимі on-line
Головні розпорядники бюджетних коштів	Пропозиції про відкриті асигнування із загального фонду Держбюджету за міжбюджетними трансфертами; розподіл відкритих асигнувань; мережа установ та організацій, які отримують кошти з державного бюджету та реєстри змін до неї; розподіли показників зведених кошторисів і зведених планів асигнувань та реєстри змін до них	Інформація про зобов'язання в частині міжбюджетних трансфертів Виписка з рахунку відкритих асигнувань за узагальненими показниками Зведений звіт про надання та використання міжбюджетних трансфертів у розрізі територій Витяги з розпису державного бюджету Інформація про неоплачені фінансові зобов'язання в розрізі територій, програм, кодів економічної класифікації видатків
Розпорядники бюджетних коштів	Інформація щодо взятих зобов'язань Платіжні доручення на перерахування коштів Заявка на видачу готівки та перерахування коштів на вкладні рахунки	Розпорядження про відкриті асигнування за узагальненими показниками спеціального фонду Держбюджету

ВХІДНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ПОТОКИ ДО МФУ ВІД УЧАСНИКІВ СУДФ

Найменування держ. органу	Складові потоку
Кабінет міністрів ($I^{db km}$)	Схвалені Основні напрями бюджетної політики Закон про державний бюджет
Міністерство економ. розвитку та торгівлі ($I^{db me}$)	Дані про кінцеві споживчі витрати домашніх господарств Роздрібний товарооборот Індекс обсягів промислового виробництва Індекс цін виробників промислової продукції Валове нагромадження основного капіталу та ін.
Національний банк України ($I^{db nb}$)	Дані про імпорт та експорт товарів (за методологією платіжного балансу) Інформація про обмінний курс Звіт і прогноз платіжного балансу
ДКСУ ($I^{db k}$)	Показники виконання державного та місцевих бюджетів; дані щодо погашення та обслуговування державного боргу та ін.
Державна фінансова служба ($I^{db fs}$)	Відомості про порушення витрат бюджетних коштів; відомості про стягнення до державного бюджету при виявленні порушень; показники податкової звітності платників податків; прогнозні обсяги надходження податків обов'язкових платежів; суми ПДВ, заявлені платниками до відшкодування та ін.
Фонд держмайна ($I^{db dm}$)	Надходження коштів від приватизації (звітні дані) Очікувані обсяги надходжень від приватизації Прогнозний розрахунок надходжень від оренди держмайна
Фінуправління ($I^{db fobl}$)	План видатків і доходів місцевих бюджетів Дані для розрахунку міжбюджетних трансфертів
Головні розпорядники коштів ($I^{db grk}$)	Пропозиції щодо прогнозних обсягів видатків і затверджені показники видатків на плановий рік Бюджетні запити, розпис асигнувань та кошториси; паспорти бюджетних програм та інформація про їх виконання; проект плану витрат коштів за бюджетними програмами на узгодження

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ ЕКСПЕРТНИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РИЗИКУ

Сучасний спосіб життя в технологічному суспільстві ставить перед нами все складніші завдання. Навіть прості, на перший погляд, питання потребують досконалого вивчення та уваги до дрібниць, наприклад: необхідно купувати приміщення для власного бізнесу, як це зробити? Можливо, необхідно зробити це на етапі побудови на виплату за меншу ціну? — Але ми не знаємо, наскільки забудовник виконає свої обов'язки та хвилюємося за свої гроші. Або, навпаки, взяти кредит під певний відсоток та купити вже готову споруду за повну ціну? — Але в цьому разі водночас потрібно оцінити стан ринку нерухомості та спрогнозувати можливі коливання курсу валют, які безпосередньо впливають на кінцеву ціну та відсоток за кредитом. Існує багато подібних прикладів.

За таких умов наші дії безпосередньо пов'язані з прийняттям конкретного рішення. У зв'язку з тим, що до уваги необхідно брати безліч критеріїв, які не завжди чітко детерміновані та не мають кількісного представлення, прийняття рішення ускладнюється та несе в собі певні ризики.

У звичайному житті для мінімізації подібних ризиків і зменшення факторів, що є джерелом невизначеності під час прийняття рішення, ми намагаємося спиратися на авторитетну думку вчених, фахівців певної галузі або друзів, які вже зіштовхувалися з подібними умовами. Тобто, ми підсвідомо вважаємо їх експертами в цьому питанні та використовуємо їхні знання для прийняття максимально оптимального рішення.

Однак слід розуміти, що не завжди ви можете залучити необхідних фахівців до обговорення та вирішення проблеми. У такому разі можливим є лише самостійний пошук інформації та прийняття рішення на її основі. У цьому випадку існує велика вірогідність неправильно інтерпретувати результати власного пошуку. Іноді такі помилки в подальшому можуть стати великою загрозою. Найчастіше це стосується галузі медицини, коли люди, не маючи достатніх знань і кваліфікації, хибно інтерпретують власні симптоми чи результати аналізів і без додаткового звернення до лікаря починають самолікування, або навпаки, ігнорують потенційну загрозу.

Щоб вирішити проблему відсутності достатньої кількості експертів у галузі інформаційних технологій (ІТ) виокремлюють клас інтелектуальних систем, що ґрунтуються на отриманих за заданим напрямом знаннях і можуть багаторазово в автоматичному режимі застосовувати їх для пошуку оптимального рішення. Клас подібних інтелектуальних систем носить назву — експертні системи (ЕС).

Як було зазначено, одним з напрямів діяльності, що потребує подібної автоматизації, є сфера медичного обслуговування. Саме тому високий рівень досягнень у сфері новітніх інформаційних технологій, математичного аналізу та моделювання, комп'ютерної техніки та апаратного забезпечення доцільно використовувати також для підвищення якості діагностики та лікувально-профілактичних заходів на всіх рівнях, починаючи з профілактичного огляду.

Високий темп життя вимагає швидкішого аналізу стану здоров'я людини: ніхто вже не бажає витрачати велику кількість часу в пошуках найкращого лікаря та стояти в чергах до нього. Отже, актуальним є створення таких інформаційних систем (ІС), що дають можливість провести первинний огляд без лікаря або poradитися з ним, не виходячи з дому чи офісу.

З позиції лікаря, велике навантаження призводить до такого негативного фактору, як розгляд усіх випадків захворювання однаково. Це не дає змоги зосередитися на ускладнених і неоднозначних випадках захворювання.

Розроблення інформаційних технологій медичного призначення дає можливість вирішити ці проблеми. У медичній інформатиці велика увага приділяється розробленню інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень лікаря та формалізації його знань у вигляді експертних систем. Такі системи мають низку безперечних переваг під час проведення огляду пацієнта: дають змогу проводити діагностування без лікаря, зробити постановку діагнозу автоматизованою та чітко окреслити нові симптоми захворювань, виокремити їх з великої кількості невизначених факторів.

Дуже часто для прийняття медичного рішення характерними є такі чинники: недостатність знань, обмеженість ресурсів часу, відсутність провідних фахівців у конкретній галузі захворювань, неповнота інформації щодо стану пацієнта. Розроблення медичних інформаційних систем (МІС), а саме систем підтримки прийняття рішень (СППР), дає змогу частково або повністю подолати перешкоди на шляху встановлення правильного діагнозу та надати лікарю необхідну інформаційну підтримку.

Запропонована в роботі математична модель прийняття експертних рішень буде подано в контексті застосування в медицині для прийняття рішення про стан здоров'я людини. Вона враховує невизначеність, що виявляється у вигляді неповноти даних про стан здоров'я через отримання від пацієнта неточних відповідей, які важко підлягають формалізації. Серед таких відповідей: «Трошки болить», «Майже не болить», «Відчуваю дискомфорт» та ін. У роботі запропоновано метод формалізації подібних відповідей і зменшення ризику встановлення неточного діагнозу.

Уважають, що метою діагностики є встановлення чіткого діагнозу, але це не так. Насправді сутність будь-якого медичного дослідження зводиться до зменшення кількості ймовірних діагнозів, тобто з'ясування питання: яких саме захворювань у пацієнта немає. Найчастіше буває так, що захворювання пов'язані або доповнюються один одним, перетинаються (мають сукупні синдроми) чи, при недостатньому догляді, отримують ускладнені форми або створюють прецедент для розвитку інших патологічних станів.

Інформація, що надходить від пацієнта, містить у собі велику кількість параметрів (при діагностуванні захворювань зорового аналізатора кількість комбінацій параметрів становить 11^{60} значень). У житті подібна інформація описується у вигляді тверджень: «бачу», «майже не бачу», «не бачу». Ці твердження є такими, що невизначені однозначно й потребують уточнень: «бачить що саме й де», «за яких умов майже не бачить», «не бачить що й де саме». Існує можливість поставити у співвідношення цим твердженням значення просторової частоти та поріг контрастної чутливості. Це дасть змогу описувати стан певного пацієнта у вигляді числової послідовності.

Нехай інформація щодо стану певної людини задається вектором, а його елементи утворюють числовий ряд розмірності $p = 11$. У подальшому подібні послідовності станемо визначати як вектори розмірності p [2]. Вектори розмірністю p з безлічі існуючих діагнозів утворюють множину E_p . Необхідно розуміти, що не всі елементи з E_p насправді описують існуючі симптоми досліджуваної людини, кількість подібних елементів достатньо невелика. Домовимося в подальшому кожен вектор з множини E_p , що чітко описує симптоми пацієнта, називати вектором симптомів пацієнта [2].

Зазначимо через $P = \{P_i\}_{i=1}^{z=\infty}$ — безліч існуючих пацієнтів.

Кожен пацієнт має свій власний вектор симптомів $s_i = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$, $p = 11$. У результаті зіставлення отримаємо множину

$$S = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} \end{pmatrix} = \left\{ x_{ij} \right\}_{\substack{i=\overline{1,z} \\ j=\overline{1,p}}},$$

тобто множину симптомів. Рядки цієї матриці є набором симптомів певного пацієнта.

Виходячи з досвіду лікарів, потрібно зауважити, що може існувати кілька пацієнтів $P_1, P_2, \dots, P_n$, $w \in z$, які мають цілком відмінні симптоми $s_1, s_2, \dots, s_w$, але їм встановлено однаковий діагноз. У подальшому називатимемо подібні симптоми — еквівалентними симптомами. Множина еквівалентних симптомів $Se_i = \{s_1, s_2, \dots, s_w\}$ визначає конкретний діагноз.

Грунтуючись на цій властивості, множина симптомів S може бути розділена на кілька класів. Якщо кільком пацієнтам встановлено однаковий діагноз, вони об'єднуються у новий клас. Зазначимо через n кількість класів симптомів, у такому разі можна вважати, що величина n є кількістю точно встановлених діагнозів.

Зазначимо через $d_i = Se_i$ вектор симптомів, що точно визначає довільний діагноз. Сукупність усіх існуючих класів еквівалентних симптомів визначає множину можливих діагнозів $D = \{d_i\} = \{Se_i\}$, $i = \overline{1, n}$.

Візьмемо довільний клас f рядків множини S . Зазначимо через d_f відповідний до цього класу діагноз. Згідно з вектором d_f побудуємо загальний вектор симптомів h_f . Правило побудови h_f має вигляд: якщо для кожного пацієнта, діагноз якого відноситься до класу f , значення елемента d_{fi} збігається між собою, тоді $h_{fi} = d_{fi}$, якщо не збігається — $h_{fi} = *$, тобто цей симптом не проявляється однозначно за наявності діагнозу d_f . Домовимось, що $H\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ у подальшому називатимемо еталонними векторами симптомів [3], скорочено еталонами.

Згідно із запропонованими позначеннями можна дійти висновку, що певному діагнозу $d_i \in D$ може бути зіставлений еталонний вектор симптомів h_i . Він містить у собі тільки однозначно вста-

новлені симптоми, які є спільними для кожного пацієнта з подібним захворюванням.

Існують випадки, коли для кількох пацієнтів, яким встановлено однаковий діагноз d_i , не може бути зіставлений загальний еталон h_i . Це може виникнути в разі відсутності зіставляючих елементів у векторах симптомів s_w , що утворюють діагноз d_i :

$$|s_1 \cap s_2 \cap \dots \cap s_w| = 0, \text{ але } \{s_1, s_2, \dots, s_w\} \in d_i.$$

Подібна ситуація з'являється, коли супутні діагнози пацієнта виявляються занадто яскраво та вносять похибку в результати дослідження. Кваліфікований лікар, звісно, побачить це, і прийме правильне рішення. Але для коректної роботи математичної моделі ідентифікації діагнозу необхідний якийсь критерій, за яким вона буде розрізняти чи співвідносити довільні симптоми з еталонним вектором симптомів h_i .

У якості подібного критерію у роботі пропонується використовувати вектори допустимих відхилень V_i^+ та V_i^- .

Домовимось позначати через $V_i^+ = (v_{i1}^+, v_{i2}^+, \dots, v_{ip}^+)$ — вектор допустимих відхилень у більший бік від еталона, а через $V_i^- = (v_{i1}^-, v_{i2}^-, \dots, v_{ip}^-)$ — вектор допустимих відхилень у менший бік від еталона. Кількість елементів у цих векторах повинна збігатися з кількістю елементів в еталонному векторі h_i :

$$|V_i^+| = |V_i^-| = |h_i|.$$

Значення кожного елемента вектора відхилень повинно бути визначено в рамках таких обмежень:

$$0 \leq v_{ij}^+ \leq \max(h_{ij}) - h_{ij} \text{ та } 0 \leq v_{ij}^- \leq h_{ij}, \text{ де } j = \overline{1, p}.$$

Таким чином, для кожного еталонного показника отримаємо коридор допустимих відхилень, у рамках якого зуєв значень при діагностуванні є дозволеним, тобто виконується умова:

$$\text{Якщо } (h_{ij} - v_{ij}^-) \leq x_j \leq (h_{ij} + v_{ij}^+), \text{ тоді } x_j = h_{ij}. \quad (1)$$

Задача встановлення діагнозу має такий вигляд: якщо існує обмежена безліч діагнозів D , тоді необхідно побудувати метод визначення довільного набору симптомів $r = \{x_1, x_2, \dots, x_p\} \in E_p$ такий, що за обмежену кількість кроків дасть змогу встановити співвідношення r з певним діагнозом $d_i \in D$, або зробити висно-

вок, що вектор r не може бути співвіднесений до існуючих діагнозів D [4].

Отримана задача — це задача ідентифікації в умовах невизначеності. Як навчальну послідовність використаємо множину еталонних векторів симптомів пацієнта $H\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$.

Установити точний діагноз за допомогою прямого порівняння r та h_i неможливо. Мінімізація відстані Хеммінга також не дає точних результатів у 100 % випадків. Подібні результати мають місце тому, що симптоми кожного пацієнта отримують ускладнення через наявність супутніх діагнозів і в базовому понятті розглядаються як рівноцінні. У цій роботі для встановлення точного діагнозу використовується *вирішальна комбінація ознак* [3].

Нехай надалі $m_1, m_2, \dots, m_w$, $1 \leq w \leq p$ послідовність допустимих ознак симптомів, це така послідовність симптомів, де w перших елементів m_j дорівнюють елементам вектора діагнозів d_{ij} , тобто $m_j = d_{ij} = x_j$.

Тоді як $N(m_1, m_2, \dots, m_w)$ зазначимо безліч усіх номерів елементів i діагнозу d_{ij} , у якого значення w елементів d_{ij} збігається з $m_1, m_2, \dots, m_w$:

$$i \in N(m_1, m_2, \dots, m_w) \Leftrightarrow d_{i1} = m_1 \& d_{i2} = m_2 \& \dots \& d_{iw} = m_w.$$

Нехай у подальшому M_i — послідовність всіх номерів ознак [3] симптомів в еталонному векторі h_i [68], тобто номери елементів, які відрізняються від *:

$$\text{Для } h_i = \{h_{ij}\} \text{ де } i = \overline{1, n} \text{ та } j = \overline{1, p}, j \in M_i \Leftrightarrow h_{ij} \neq *.$$

Згідно з цим визначенням, для довільної послідовності допустимих ознак $m_1, m_2, \dots, m_w$ вважатимемо, що $M(m_1, m_2, \dots, m_w)$ безліч, яка відповідає еталонному вектору h_i та утворюється з номерів ознак симптомів:

$$M(m_1, m_2, \dots, m_w) = \bigcap_{i \in N(m_1, m_2, \dots, m_w)} M_i.$$

Ураховуючи всі визначення та твердження, дамо визначення вирішальної комбінації ознак [2]: вирішальною комбінацією ознак для послідовності допустимих ознак $m_1, m_2, \dots, m_w$ вважатимемо множину $S(m_1, m_2, \dots, m_w)$, що може бути задана у такий спосіб:

$$1) S(m_1) = M(m_1)/S_0, \text{ при } w = 1.$$

$$2) S(m_1, m_2, \dots, m_w) = M(m_1, m_2, \dots, m_w) / M(m_1, m_2, \dots, m_{w-1}), \text{ при } 2 \leq w \leq k.$$

де $k \leq p$ та $S_0 = \bigcap_{i=1}^n M_i$ — це початкова вирішальна комбінація ознак [68], якій притаманна властивість $S_0 \neq \emptyset$.

Відношення між усіма існуючими вирішальними комбінаціями ознак визначимо за допомогою наведеної нижче теореми.

Теорема. Нехай задано довільний діагноз $d_i \in D = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik})$, тоді безліч вирішальних комбінації ознак $S_0, S(d_{i1}), S(d_{i1}, d_{i2}), \dots, S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik})$ попарно не перетинається, а їх поєднання збігається з M_i послідовністю всіх номерів ознак d_i [68].

Доказ. Зауважимо, що $d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik}$ — допустима послідовність чисел. Очевидно, виконуються включення

$$N(d_{i1}) \supset N(d_{i1}, d_{i2}) \supset \dots \supset N(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik}) = \{i\}.$$

Тому

$$S_0 \subset M(d_{i1}, d_{i2}) \subset \dots \subset M(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik}) = M_i.$$

Тоді $S_0 \cup S(d_{i1}) = M(d_{i1})$,

оскільки $S_0 \subset M(d_{i1})$ и $S(d_{i1}) = M(d_{i1}) / S_0$. Надалі,

$$S_0 \cup S(d_{i1}) \cup S(d_{i1}, d_{i2}) = M(d_{i1}, d_{i2}),$$

оскільки $M(d_{i1}) \subset M(d_{i1}, d_{i2})$ и $S(d_{i1}, d_{i2}) = M(d_{i1}, d_{i2}) / M(d_{i1})$. Так далі,

$$S_0 \cup S(d_{i1}) \cup S(d_{i1}, d_{i2}) \cup \dots \cup S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik}) = M(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik}) = M_i.$$

Нехай $1 \leq p < q \leq k$. Маємо

$$S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ip}) \subset M(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ip}) \subset M(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iq-1}).$$

Однак $M(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iq-1}) \cap S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iq}) = \emptyset$, тому

$$S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ip}) \cap S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iq}) = \emptyset.$$

Таким чином, множини $S_0, S(d_{i1}), S(d_{i1}, d_{i2}), \dots, S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik})$ попарно не перетинаються, а поєднання збігається з M_i [3].

Безліч $S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ip})$ може виявитися порожньою за кількома умовами: по-перше $M(m_1, m_2, \dots, m_p) = \emptyset$, чи по-друге,

$$M(m_1, m_2, \dots, m_p) = M(m_1, m_2, \dots, m_{p-1}).$$

Твердження $M(m_1, m_2, \dots, m_p) = \emptyset$ суперечить умові $S_0 \neq \emptyset$.

Друге твердження є правильним за умови, що для $m_1, m_2, \dots, m_{p-1}$ є загальне число m_p , що робить $m_1, m_2, \dots, m_p$ допустимою. Тоді справедливим є таке: $N(m_1, m_2, \dots, m_p) = N(m_1, m_2, \dots, m_{p-1})$, отже й

$$M(m_1, m_2, \dots, m_p) = M(m_1, m_2, \dots, m_{p-1}).$$

Візьмемо довільний набір симптомів $r \in E_m^\wedge$. Для нього множина $M_r = \{j|s_j\}, j = \overline{1, p}$ — це номери елементів у векторі. Довільна послідовність чисел $X \subset \{1, 2, \dots, k\}$ задається таким чином $1 \leq k \leq p$. Якщо $X \neq \emptyset$, тоді задамо величину $\chi(r, X)$ за допомогою рівності [3]:

$$\chi(r, X) = \frac{|M_r \cap X|}{|X|}, \quad (2)$$

де $|X|$ та $|M_r \cap X|$ — кількість елементів з безлічі X і $M_r \cap X$. Область допустимих значень для $\chi(r, X)$ задається умовою $0 \leq \chi(r, X) \leq 1$.

$\chi(r, X)$ — функція показує, наскільки вектор r відповідає множині X . Зрозуміло, що $X \subset M_r$ у випадку, коли $\chi(r, X) = 1$ [3].

Введемо позначення. У довільній допустимій послідовності чисел $m_1, m_2, \dots, m_{p-1}$ [3] зазначатимемо як $Q(m_1, m_2, \dots, m_{p-1})$ весь набір елементів q , для якого послідовність $m_1, m_2, \dots, m_{p-1}, q$ є допустимою [3].

Класифікацію на множині D називатимемо ефективною щодо системи еталонних векторів $h_1, h_2, \dots, h_n$, якщо для будь-якої допустимої послідовності чисел $(m_1, m_2, \dots, m_{p-1})$ і будь-якого $q \in Q(m_1, m_2, \dots, m_{p-1})$ виконується умова [3]

$$S(m_1, m_2, \dots, m_{p-1}, q) \not\subset \bigcup_{i \in Q(m_1, m_2, \dots, m_{p-1}) \& i \neq q} S(m_1, m_2, \dots, m_{p-1}, i).$$

Зазначимо через r — довільний вектор з $E_m^\wedge$ [3] такий дорівнює $M_r = \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$. Враховуючи теорему 2.1, для будь-якого $p = \overline{1, k}$ маємо

$$\begin{aligned} M_r \cap S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ip}) &= \{i_p\}, \\ \text{а } M_r \cap S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ip}) &= \emptyset, \text{ при } q \neq d_{ip}. \text{ Тому,} \\ \chi(r, S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ip})) &= \frac{1}{|S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ip})|} > 0, \end{aligned}$$

а $\chi(r, S(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ip-1}, q)) = 0$, тоді $q \neq d_{ip}$. Отже, можна сказати, що $i_1, i_2, \dots, i_k$ — повна система істотних ознак [2] для елемента d_i . Очевидно, ця система ознак є мінімальною [2].

Отже, алгоритм точно справить ідентифікацію, у разі надання йому повної системи ознак, яка містить у собі елементи у кількості k . Зауважимо, кількість елементів еталонного вектора більша, ніж значення k .

Ураховуючи особливість вхідної інформації, що надходить від пацієнта наприкінці діагностування, удосконалимо існуючу математичну модель за рахунок уведення векторів допустимих відхилень v_i^+ та v_i^- від еталонного вектора симптомів h_i . Це уточнення необхідно враховувати при обчисленні множини $M_r \cap X$ для процедури $\chi(r, X)$.

Потрібно зазначити, що в разі неможливості співвідносити існуючий набір симптомів з будь-яким з існуючих еталонних зразків, модель виведе від'ємний результат, що може бути інтерпретовано як необхідність створити новий еталонний вектор симптомів. На його основі лікар повинен: класифікувати отриманий результат, установити діагноз, зазначити границі допустимих відхилень і зберегти ці дані для подальшої роботи моделі.

Необхідно також зробити зауваження щодо випадків, коли вектор довільних симптомів r у результаті роботи моделі відноситься до кількох класів захворювань, тобто збігається з кількома еталонними векторами h_i . Це може статися з двох причин: при створенні еталонних векторів класифікація на множині не була ефективною або для цих еталонних векторів установлено надто широкий діапазон допустимих відхилень. У цьому разі результат роботи моделі також буде від'ємним і вкаже на необхідність уточнення еталонних векторів або діапазону допустимих відхилень для них.

Згідно з визначенням, для того, щоб модель ідентифікувала діагноз однозначно або однозначно встановила, що жоден з описаних діагнозів не відповідає довільному вектору симптомів, необхідно, щоб класифікація була ефективною. Наступні кроки описують метод узгодження еталонних векторів h_i під час створення нового еталона чи при проведенні уточнення існуючих:

- отримання довільного вектору симптомів r ;
- виділення істотних ознак у векторі r , отримання вектора r' ;
- пошук розбіжностей між існуючими діагнозами без урахування відхилень. Якщо знайдено еталонний вектор h_i , що збігається з r' — перейти до кроку 2. Якщо жоден з діагнозів не збігається з r' — перейти до кроку 4;

— зіставлення вектора r' з векторами допустимих відхилень v_r^+ та v_r^- ;

— пошук розбіжностей між існуючими діагнозами з урахуванням допустимих відхилень v_r^+ та v_r^- . Якщо знайдено еталонний вектор h_i такий, що збігається з r' — перейти до кроку 4. Якщо жоден з діагнозів не збігається з r' — перейти до кроку 6;

— зберігання векторів r , r' , v_r^+ та v_r^- у базі знань як таких, що описують новий еталонний вектор симптомів h_{i+1} .

Математична модель ідентифікації діагнозу в умовах невизначеності, яку було описано, є підставою для створення *методу прийняття рішень* [1] щодо наявності того чи іншого діагнозу у пацієнта:

— отримання базових параметрів: r — довільний вектор симптомів пацієнта;

— установлення початкових параметрів: c — кількість рішучих ознак в еталонному векторі; cnt_d — кількість діагнозів d , що співвідносяться з r максимально точно.

Обчислення процедури $\chi(r, X)$ для всіх існуючих еталонних векторів симптомів h_i .

Підрахунок кількості діагнозів cnt_d , для яких r ідентифікований точно.

Перевірка результатів ідентифікації діагнозу. Якщо $cnt_d = 1$, тоді діагноз ідентифікований однозначно. Якщо $cnt_d = 0$ — необхідно зберегти новий діагноз як еталонний. Якщо $cnt_d > 1$ — потрібне уточнення існуючих еталонних векторів симптомів і/або векторів допустимих відхилень.

Математичні властивості методу прийняття рішень включено в алгоритм, який може бути описаний такими кроками:

АЛГОРИТМ. Прийняття рішень.

ВХІД. Довільний вектор симптомів $r = (x_1, x_2, \dots, x_p)$, $p = 11$.

ВИХІД. Результуючий діагноз $d_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ip})$ та його інтерпретація в текстовому представлені.

МЕТОД.

КРОК 1. Установити базові параметри: кількість знайдених діагнозів $cnt_d = 0$; кількість перевірених діагнозів $i = 1, i = \overline{1..n}$, де n — кількість точно встановлених діагнозів.

КРОК 2. Перевірка кількості проаналізованих діагнозів. Якщо $i = n$, тоді перейти до кроку 15. Інакше — крок 3.

КРОК 3. Отримати $k = |h_i|$ — кількість рішучих ознак в еталонному векторі, де $|h_i| \in \{|h_1|, |h_2|, \dots, |h_n|\} = D_{abs}$. Елементи D_{abs} упорядковані від меншої кількості рішучих ознак до найбільшої.

КРОК 4. Установити лічильник $c = 0$ та $RcH = 0$ — кількість елементів з множини довільного вектора симптомів r , що перетинаються з еталонним вектором h_i .

КРОК 5. Якщо $c = k$, тоді перейти до кроку 10. Інакше — крок 6.

КРОК 6. Отримати номер рішучої ознаки $j = m_c \in S_i(m_1, m_2, \dots, m_k)$.

КРОК 7. Перевірка потрапляння довільної ознаки в діапазон допустимих відхилень. Якщо $(h_{ij} - v_{ij}^-) \leq r_j \leq (h_{ij} + v_{ij}^+)$, тоді — крок 8. Інакше — крок 9.

КРОК 8. Збільшення кількості ознак, що збігаються з еталонном $RcH = RcH + 1$.

КРОК 9. Збільшення лічильника $c = c + 1$. Перейти до кроку 5.

КРОК 10. Розрахувати значення процедури $\chi(r, X)$ для обраного на цій ітерації еталонного вектора симптомів:

$$hi_i = \chi(r, h_i) = \frac{RcH}{k}.$$

КРОК 11. Перевірка, чи відноситься довільний вектор r до діагнозу h_i . Якщо $hi_i = 1$, тоді — крок 12. Інакше — крок 14.

КРОК 12. Збільшення кількості вірогідних діагнозів $cnt_d = cnt_d + 1$.

КРОК 13. Збереження вірогідного діагнозу $d_{cnt_d} = h_i$.

КРОК 14. Збільшення кількості проаналізованих діагнозів $i = i + 1$. Перейти до кроку 2.

КРОК 15. Перевірка результатів ідентифікації діагнозу. Якщо $cnt_d = 0$, тоді перейти до кроку 16. Якщо $cnt_d > 1$, тоді — крок 17. Якщо $cnt_d = 1$, то — крок 18.

КРОК 16. Створення нового еталонного вектора симптомів h_{n+1} на базі довільного вектора симптомів пацієнта r . Перехід до кроку 18.

КРОК 17. Уточнення існуючих еталонних векторів з множини вірогідних діагнозів $d = \{h_1, h_2, \dots, h_{cnt_d}\}$ та їх діапазонів відхилень, що були співвіднесені з довільним вектором симптомів r . Перехід до кроку 1.

КРОК 18. Виведення вірогідного діагнозу d_{cnt_d} та його текстового представлення $description(d_{cnt_d})$.

КРОК 19. Алгоритм закінчено.

Висновки

За результатами розробленої математичної моделі прийняття експертних рішень в умовах невизначеності та ризику можна зробити деякі висновки.

1. Модель може бути використана для вирішення завдань, пов'язаних з необхідністю встановлення відношення багатокритеріального зразка до одного з існуючих класів приналежності.

2. Під час побудови моделі було надано повний опис усіх кроків, що можуть бути використані для створення алгоритму та програмної реалізації математичної моделі.

3. Програмна реалізація математичної моделі, що спирається на вирішальну комбінацію ознак і вектори допустимих відхилень, дає змогу проводити автоматизовану постановку діагнозу без участі лікаря. Вона підвищує також якість постановки діагнозу, через успішну ідентифікацію еталонних векторів ознак на множині існуючих діагнозів. Такий підхід є найправильнішим, оскільки він зменшує початкову невизначеність задачі.

Література

1. *Кривошеєв К. В.* Моделі, методи та інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при діагностуванні очних захворювань / К. В. Кривошеєв // Молодий вчений. — Херсон: «Видавничий дім «Гельветика»», 2015. — № 11(26) частина 1. — С. 28–32.

2. *Литвиненко В. И.* Модели обработки неполной и противоречивой информации в диагностических системах: дис. канд. техн. наук: 05.13.06. / В. И. Литвиненко. — Херсон: 1997. — 201 с.

3. *Ляшенко Т. В.* Исследование математического аппарата при разработке медицинской интеллектуальной системы мониторинга и лечения больных тиреотоксическим сердцем / Т. В. Ляшенко, Д. В. Малый // Український медичний альманах. — 2000. — Т. 3. — № 4. — С. 198–199.

4. *Пантелєєв Г. В.* Експертна система діагностики зору людини / Г. В. Пантелєєв, С. К. Рамазанов, К. В. Кривошеєв // Матеріали міжнародного форуму інноваційних проектів студентів, аспірантів і молодих учених «Соціально-економічний, екологічний та гуманітарний розвиток регіонів» 5–7 квітня 2012 року, м. Луганськ. — Луганськ: Вид-во «Ноулідж», 2012. — С. 126–130.

5. *Grigory Panteleev.* Expert system, as component of diagnostics system of man's sight [text] / Grigory Panteleev, Sultan Ramazanov, Konstantin Krivosheev // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. — Lublin-Rzeszów, 2013 — Vol. 13. — No. 3. — Pp. 170–176.

ІНТЕРАКТИВНА ПРОЦЕДУРА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Охарактеризувати в прийнятній і зрозумілій формі всі наслідки, що становлять інтерес, за допомогою одного критерію, у більшості випадків навряд чи можливо. Саме тому оцінювання ефективності прийнятих рішень щодо управління навіть не дуже складною системою будь-якої фізичної природи потребує зазвичай використання сімейства критеріїв (векторного критерію). Наявність такого сімейства критеріїв передбачає, крім усього іншого, виявлення ОПР (особою приймаючою рішення) суперечностей і можливостей збільшення взаємного узгодження цілей з метою досягнення певного компромісу. У загальному випадку це є завданням, формальне вирішення якого поза рамками самого процесу оптимізації часто є значно складнішим завданням, ніж отримання формально оптимального результату після його розв'язання. Це призводить до необхідності ОПР у самому процесі вироблення оптимального рішення уточнювати свої початкові й формувати реальніші вподобання, а також виявляти можливості, які раніше були відкинуті або невідомі.

Аналіз підходів до багатокритеріальної оптимізації, зроблений ще на початку 70-х років минулого століття, дав змогу дійти висновку, що «майбутнє багатокритеріального програмування — у вирішенні задач в інтерактивному режимі» [1], у якому оптимізація відбувається за участю експерта — людини, яка обирає й приймає рішення на основі інформації, наданої системою підтримки прийняття рішень. Сутність інтерактивного підходу полягає в тому, щоб дозволити людині втручатись у процес пошуку рішення і розширити можливості його коригування за рахунок зворотного зв'язку між людиною та моделлю. Цей зв'язок повинен надавати ОПР можливість отримувати нові відомості про проблему, що стоїть перед нею, повніше оцінювати взаємозамінність критеріїв і діапазон можливостей, що задається безліччю допустимих рішень. В ідеалі все це повинно дозволити ОПР краще розібратися, де шукати більш вдалі рішення та як розпізнати остаточне рішення, якщо його вдалося знайти. Це повинно досягатися за рахунок того, що людина робить краще за все (за наявністю нової інформації виробляти поліпшені або виправлені судження).

Аналіз сучасних публікацій показує, що увага авторів переважно зосереджена на способах визначення розрахунковим шляхом вагових коефіцієнтів з метою заміни сукупності критеріїв певною скалярною функцією, яка й використовується як єдина основа для отримання оптимального рішення [2–4]. Такий підхід, що ґрунтується на визначених на науковій основі вагових коефіцієнтах, може бути ефективним лише для окремих класів задач. У більшості випадків суто «об’єктивний» формалізований аналіз, що залишає поза увагою суб’єктивні цінності і можливості їх взаємної компенсації, не може дати правильних вказівок щодо доцільності прийняття тих чи інших рішень і результат такого аналізу часто буде неприйнятним. Тому такий підхід навряд чи може бути покладений в основу розроблення програмних засобів для вирішення широкого класу задач багатокритеріальної оптимізації.

Метою роботи є розроблення інтерактивної процедури пошуку ОНР компромісного рішення при розв’язанні задач багатокритеріальної оптимізації, в яких альтернативи в явному вигляді не формулюються — замість цього в явному вигляді формулюються обмеження, що накладаються на можливі рішення. Її проведення повинно полегшувати для ОНР процес усвідомлення, який саме курс дій у певних конкретних умовах слід обирати для узгодження своїх цілей, і гарантувати, що при досягненні компромісного рішення воно буде Парето-оптимальним (ефективним). При цьому реалізація такої процедури повинна передбачати використання комерційних програм однокритеріальної оптимізації як робочого математичного забезпечення.

Нехай якість об’єкта управління оцінюється вектор-функцією

$$f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)), \quad (1)$$

компонентами якої є задані функції $f_i(x)$ ($i = 1, 2, \dots, k$) вектора $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. На змінні x_j ($j = 1, n$) накладаються обмеження вигляду:

$$g_j \geq x_j \leq u_j \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

$$d_l \geq q_l(x) \leq b_l \quad (l = 1, 2, \dots, m). \quad (3)$$

Потрібно знайти таку допустиму точку x^* , яка буде Парето-оптимальною й забезпечить отримання таких компромісних значень $z_1, z_2, \dots, z_k$, критеріїв $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$, що вони будуть задовольняти суб’єктивним вимогам ОНР.

Для вирішення поставленого завдання у складі інтерактивної процедури, орієнтованої на досягнення експериментальним шляхом компромісу на основі локальних уподобань, необхідно мати щонайменше два механізми, почергове застосування яких у належній послідовності дасть змогу або виробити узгоджене рішення, або дійти висновку про неможливість його досягнення. Це механізми пошуку й переналагодження.

Механізм пошуку — це механізм, за допомогою якого отримується нове ефективне рішення після чергового переналагодження моделі. Це рішення пропонується визначати в пронормованому просторі окремих критеріїв шляхом мінімізації відстані від цього рішення до «ідеальної» точки, визначеної шляхом оптимізації кожного з критеріїв окремо, яка у загальному випадку є недосяжною. Величина відстані оцінюється сумою квадратів відхилень кожного з критеріїв від свого оптимального значення.

Зазначимо, що кількісне значення цієї відстані не несе змістовного навантаження щодо оцінки отриманого рішення ОПР і не є інформацією, яку треба надавати ОПР у процесі вироблення узгодженого рішення.

Механізм переналагодження — це механізм, який з урахуванням результатів попередніх пошуків, передусім поточного й попереднього, створює нові умови для розкриття суперечливості критеріїв і визначення на цій основі поточних модифікацій моделі. Останні можуть включати в себе:

- корегування коефіцієнтів «узгодження», відповідно до яких змінюються масштаби кількісної оцінки відстані окремих критеріїв до їх «ідеальних» значень, корегуючи таким чином їх «силу тяжіння» до цих значень. Таке перенормування простору критеріїв створює передумови для зсуву поточного рішення в напрямі, заданому змінами коефіцієнтів узгодження;

- додавання критеріїв у нежорсткі обмеження із заданими величинами їх найгірших значень. При максимізації критерія задана величина обмежує найгірше значення цього критерію з відношенням $\geq$, а при мінімізації — з відношенням $\leq$. Якщо хоча б в одному з критеріїв буде задана величина найгіршого значення, яка конфліктуватиме з тією, до якої її буде тягнути «сила тяжіння», то це призведе до відповідного зсуву ефективного рішення;

- корегування множини вихідних обмежень (3). Ефективність такого способу модифікації моделі залежить від наочності множини звітів, що видаються комерційним програмним забезпеченням, яке застосовується для однокритеріальної оптимізації, і

відповідної кваліфікації ОПР щодо їх використання, і тому далі він не розглядається.

Алгоритм запропонованої процедури, яку можна назвати процедурою зсуву точки суб'єктивної ефективності, складається з кількох кроків.

Крок 1. Будується таблиця екстремальних рішень, колонки якої відображають значення елементів критеріальних векторів $z^{(i)}$ ($i = 1, 2, \dots, k$), отриманих оптимізацією кожного критерію окремо. Елементи z_{ii} уздовж головної діагоналі цієї таблиці дорівнюють оптимальним значенням цих критеріїв, утворюючи ідеальний критеріальний вектор z^* з елементами, $z^*_1 = z_{11}$, $z^*_2 = z_{22}, \dots, z^*_k = z_{kk}$, одночасне досягнення яких у загальному випадку неможливе:

	$z^{(1)}$	$z^{(2)}$	...	$z^{(k)}$
z_1	z_{11}	z_{12}	...	z_{1k}
z_2	z_{21}	z_{22}	...	z_{2k}
...	...	...	...	...
z_k	z_{k1}	z_{k2}	...	z_{kk}

Крок 2. Обчислюються початкові значення коефіцієнтів узгодження. Спочатку вони обчислюються за абсолютною величиною за формулою:

$$\rho_i = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^k \text{abs}(z_{ij})} \text{abs} \left(\frac{z_{\max} - z_{\min}}{\sum_{j=1}^k \text{abs}(z_{ij})} \right) \right)^2, \quad (4)$$

де $z_{\max}$ — це максимальний, а $z_{\min}$ — мінімальний елемент i -ого рядка таблиці екстремальних рішень, а потім з метою спрощення подальшого їх порівняння та коригування масштабуються за формулою:

$$\beta_i = \rho_i / \sum_{j=1}^k \rho_j. \quad (5)$$

У цих формулах i — номер рядка, а j — номер колонки таблиці екстремальних рішень, $\rho_{\max}$ — максимальне ρ_i . ($i = 1, \dots, k$). Сенс першого множника в формулі (4) — згладити різноманітність критеріїв і довільність вибору масштабів їх оцінок у квадратичній функції (6). Сенс другого — збільшити вагу критеріїв з більшими відносними межами значень.

$$F(x) = \beta_1 (z^*_1 - f_1(x))^2 + \beta_2 (z^*_2 - f_2(x))^2 + \dots + \beta_k (z^*_k - f_k(x))^2. \quad (6)$$

Крок 3. Оптимізація окремих критеріїв не дає гарантії, що отримані рішення $z^{(i)}$ ($i=1, 2, \dots, k$) є ефективними. Тобто немає гарантії, що не можна поліпшити значення деяких критеріїв без погіршення інших. Цей крок, який може бути й пропущеним, дає змогу гарантувати, що всі екстремальні рішення будуть доведені до Парето-оптимальних. Він складається з k -а послідовних мінімізацій квадратичної цільової функції (6) з накладанням обмежень (2) і (3), до яких на кожній ітерації додається один з критеріїв як $m + 1$ обмеження: $f_i(x) = z^*_i$.

Якщо цей крок не пропускається, бажано перерахувати коефіцієнти узгодження за формулами (4) та (5).

Крок 4. Отримується нове рішення мінімізацією квадратичної цільової функції (6) з накладанням лише обмежень (2) і (3).

Наступні кроки (у необмеженій кількості) спрямовані на те, щоб у процесі інтерактивного цілеспрямованого експерименту дослідити область можливих рішень і знайти серед них більш прийнятні (з позиції ОПР) рішення. На кожному з цих кроків мінімізується квадратична цільова функція $F(x)$ після корегування одного чи кількох коефіцієнтів узгодження β_i .

Корегування цих коефіцієнтів дає змогу змінити масштаби кількісної оцінки відстані критеріїв до їх «ідеальних» значень, що зазвичай приводить при мінімізації функції $F(x)$ до отримання нового ефективного рішення.

Крім того, нове рішення може бути отримане мінімізацією функції $F(x)$ навіть при тих же самих коефіцієнтах після накладання обмежень на найгірше значення одного чи кількох критеріїв, якщо хоча б одне з цих значень буде краще поточного значення відповідного критерію. Зрозуміло, що накладання неадекватних умов призведе до неможливості отримання нового рішення через протиріччя з обмеженнями (3). Процес узгодження можна продовжувати, поки одні з компонентів критеріального вектора z менш прийнятні, ніж інші, і поточну ситуацію можна поліпшити за рахунок компромісів.

Якщо ОПР не хоче йти на компроміс, збільшуючи чи зменшуючи деякі компоненти вектора z за рахунок інших, то процес завершується.

Процес досягнення узгодженого ефективного рішення проілюструємо на такому прикладі [1]: знайти вектор $x = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}\}$, що максимізує чотири функції:

$$\begin{aligned} f_1(x) &= 15x_1 + 5x_2 + 12x_3 - 8x_4 + 2x_5 + 7x_6 - 17x_7 - 1x_8 - 14x_9 + 9x_{10}; \\ f_2(x) &= -17x_1 - 19x_2 - 1x_3 + 3x_4 - 4x_5 - 18x_6 + 14x_7 + 4x_8 - 16x_9 - 11x_{10}; \end{aligned}$$

$$f_3(x) = -3x_1 + 3x_2 + 13x_3 + 8x_4 + 15x_5 + 18x_6 + 17x_7 - 19x_8 + 14x_9 - 19x_{10};$$

$$f_4(x) = -x_1 + 2x_4 + 8x_5 - 4x_6 + 7x_7 + 9x_8$$

і задовольняє обмеженням

$$\begin{aligned} 18x_1 + 11x_6 + 2x_7 + 6x_8 + 3x_{10} &\leq 100, \\ 4x_1 + 19x_3 + 15x_4 + 1x_5 + 11x_6 + 13x_7 &\leq 100, \\ 8x_2 + 3x_4 + 11x_8 &\leq 100, \\ 12x_5 + 2x_6 + 5x_7 + 3x_9 + 4x_{10} &\leq 100, \\ 13x_1 + 4x_3 + 9x_5 + 7x_6 + 3x_7 + 13x_8 + 12x_9 + 3x_{10} &\leq 100, \\ 4x_3 + 19x_5 + 8x_9 + 9x_{10} &\leq 100, \\ 8x_1 + 3x_2 + 18x_3 + 3x_5 + 2x_7 + 2x_9 + 5x_{10} &\leq 100, \\ 1x_2 + 9x_4 + 13x_9 + 19x_{10} &\leq 100, \end{aligned}$$

при $x_i \geq 0$.

Оскільки задача визначена без певного змістовного навантаження, яке б стимулювало проведення процедури узгодження, вважатимемо, що для ОПР важливо, щоб в узгодженому рішенні критерії мали максимально можливі, але близькі за величиною значення. Розглянемо кілька кроків вирішення цієї задачі з використанням розглянутого алгоритму.

Крок 1. Оптимізується окремо кожен критерій та отримані результати заносяться в таблицю екстремальних рішень (табл. 1).

Таблиця 1

	$z^{(1)}$	$z^{(2)}$	$z^{(3)}$	$z^{(4)}$
z_1	183,4	-137	-108	-116
z_2	-429	131,4	-208	90,44
z_3	117,3	18,34	270,8	157,9
z_4	-4,04	107,1	81,48	114,4

Дані в колонках цієї таблиці відображають суперечливості критеріїв. З них видно, що оптимізація першого може призвести до суттєвого погіршення четвертого й особливо другого. Оптимізація другого — до суттєвого погіршення першого й третього. Оптимізація третього — до суттєвого погіршення першого та другого. Оптимізація четвертого — до суттєвого погіршення першого. Оптимізовані значення критеріїв, що знаходяться на головній діагоналі (табл. 1), утворюють ідеальний критеріальний вектор $z^* = \{183,4; 131,4; 270,8; 114,4\}$, який через суперечливість критеріїв є недосяжним.

Крок 2. За формулами (4) і (5) обчислюються початкові значення коефіцієнтів «узгодження» $\beta = \{0,296; 0,146; 0,159; 0,399\}$.

Крок 3. Оскільки жодне з екстремальних рішень не є задовільним і всі вони дуже далекі від того, щоб слугувати відправною точкою для вироблення компромісного рішення, то крок щодо гарантування забезпеченості їх ефективності (Парето-оптимальності) опускається.

Крок 4. Мінімізується квадратична функція (7) з обчисленими в п. 2 значеннями коефіцієнтами узгодження, що дає такі результати:

$$\begin{aligned} x &= \{0; 0; 4,81; 0; 4,251; 0; 0,336; 0; 0; 0\}, \\ z &= \{60,51; -17,11; 131,99; 36,35\}; \\ F(x) &= \beta_1(183,4 - f_1(x))^2 + \beta_2(131,4 - f_2(x))^2 + \\ &\quad \beta_3(270,8 - f_3(x))^2 + \beta_4(114,4 - f_4(x))^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Крок 5. В отриманому рішенні особливо неприйнятним є значення другого критерію, яке потребує значного підвищення. Виходячи з визначеного вище суб'єктивного погляду ОПР («максимальні значення критеріїв з мінімальними відхиленнями між собою») це бажано зробити передусім за рахунок третього критерію. І як видно зі значень 3-ої колонки табл. 1, зменшення коефіцієнта узгодження 3-го критерію може сприяти підвищенню значення 2-го.

Дані 2-ї колонки таблиці 1 вказують на те, що підвищення значення 2-го критерію може суттєво зменшити значення 1-го, отже коефіцієнт узгодження останнього потрібно збільшити.

Зрозуміло, що наведений аналіз носить лише якісний і дуже наближений характер. Оцінити дійсний вплив конкретних значень коефіцієнтів узгодження на значення критеріїв можна лише після проведення експерименту, змінивши значення коефіцієнтів узгодження у відповідному напрямі, наприклад так, як показано в табл. 2. У цьому разі вектор змінних x матиме значення $\{0; 0; 4,08; 0; 4,4; 0; 1,39; 2,34; 0; 0\}$.

Таблиця 2

	Коефіцієнти узгодження			Рішення		
	поточ.	попер.	зміни	зміни	поточ.	попер.
z_1	0,31	0,296	0,014	-28,71	31,80	60,51
z_2	0,47	0,146	0,324	24,22	7,11	-17,11
z_3	0,11	0,159	-0,049	-33,65	98,34	131,99
z_4	0,399	0,399	0	29,64	65,99	36,35

Крок 6. Аналізуючи загалом позитивні результати попереднього експерименту, виникає питання про проведення наступного з приблизно такими ж змінами перших трьох коефіцієнтів узгодження та додатковою зміною четвертого в напрямі його зменшення. У результаті мінімізації функції (7) з коефіцієнтами узгодження $\beta = \{0,324; 0,794; 0,061; 0,2\}$ буде отримано вектор $x = \{0; 0; 3,98; 0; 1,923; 0; 1,727; 4,738; 0; 0\}$ і значення критеріїв, наведені в табл. 3.

Таблиця 3

	Коефіцієнти узгодження			Рішення		
	поточ.	попер.	зміни	зміни	поточ.	попер.
z_1	0,324	0,31	<i>0,014</i>	<i>-14,30</i>	17,5	31,80
z_2	0,794	0,47	<i>0,324</i>	<i>24,35</i>	31,46	7,11
z_3	0,061	0,11	<i>-0,05</i>	<i>-78,41</i>	19,93	98,34
z_4	0,2	0,399	<i>-0,199</i>	<i>4,12</i>	70,11	65,99

Крок 7. З отриманих даних впливає доцільність зменшення коефіцієнтів β_2 та β_4 . Можливий результат наведено в табл. 4. Значення змінних x дорівнюють $\{0; 0; 4,295; 0; 2,823; 0; 1,197; 4,14; 0; 0\}$.

Таблиця 4

	Коефіцієнти узгодження			Рішення		
	поточ.	попер.	зміни	зміни	поточ.	попер.
	0,324	0,324	<i>0</i>	<i>15,2</i>	32,7	17,5
	0,065	0,794	<i>-0,144</i>	<i>-13,73</i>	17,73	31,46
	0,061	0,061	<i>0</i>	<i>19,96</i>	39,89	19,93
	0,1	0,2	<i>-0,1</i>	<i>-1,89</i>	68,23	70,11

Крок 8. Порівняння даних трьох останніх кроків свідчить про наявність коливань значень перших трьох критеріїв навколо деяких середніх значень. Цим можна скористатися, установивши обмеження на граничні (найгірші) значення. Водночас значення четвертого критерію доволі стабільне, незважаючи на суттєве зменшення коефіцієнта узгодження β_4 . Тому цей коефіцієнт мож-

на прирівняти до нуля, унеможлививши різкий спад критерію, обмеживши його найгірше значення. Оскільки було прийнято, що для ОПР важливо, щоб в узгодженому рішенні критерії мали максимально можливі значення однакової величини, то в цьому разі для всіх критеріїв можна встановити обмеження однакової величини. Результат мінімізації функції (7) при встановленні на всі критерії обмеження «не менше 25» і значення $\beta_4 = 0$ вектор $x = \{0; 0; 4,291; 0; 0; 0; 1,42; 2,352; 0; 0\}$ наведено в табл. 5.

Таблиця 5

	Коефіцієнти узгодження			Рішення		
	поточ.	попер.	зміни	зміни	поточ.	попер.
z_1	0,324	0,324	0	15,2	25	32,7
z_2	0,065	0,065	-0,144	-13,73	25	17,73
z_3	0,061	0,061	0	19,96	35,25	39,89
z_4	0	0, 1	-0,1	-1,89	31,11	68,23

Крок 9. При встановленні на всі критерії обмеження «не менше 26» і тих самих коефіцієнтах узгодження отримуємо вектор $x = \{0; 0; 4,2331; 0; 0; 0; 1,362; 2,814; 0; 0\}$, а вектор $z = \{26; 25,996; 26; 34,86\}$

Хоча в наведеному прикладі вподобання ОПР носять дещо штучний характер («максимальні значення критеріїв, які повинні якомога менше відрізнятись між собою»), цей прилад доволі повно ілюструє процес вироблення компромісного рішення при використанні запропонованої процедури.

Висновки

1. Запропонована інтерактивна процедура вироблення компромісів при вирішенні безперервних задач багатокритеріальної оптимізації є евристичною, оскільки на питання, що потребують відповіді для просування в напрямі вироблення компромісу (які обирати коефіцієнти узгодження та які накласти обмеження на критерії й на які саме?) не можна відповісти абсолютно чітко. Проте усвідомлення напрямів дій, які створюють передумови отримання суб'єктивно кращого рішення, не викликає труднощів. На кожному етапі видно, ціною яких програшів в одних показниках набувається вигреш в інших і яким чином це було досягнуто. Неправильно обрані коефіцієнти узгодження можуть бути скореговані на наступних кроках і приведуть не до зупинення процесу,

а лише до зростання кількості ітерацій. Отже, цю процедуру можна розглядати як слабоструктурований підхід послідовного вироблення кращого рішення, який може бути застосований у тих багатьох випадках, коли суто «об'єктивний» аналіз не здатен дати правильних вказівок щодо доцільності прийняття формально виробленого рішення.

2. Оскільки запропонована процедура орієнтована на використання комерційних пакетів однокритеріальної оптимізації, то розмірність чи інші особливості задачі, яку можна вирішити, не лімітуються її багатокритеріальною природою. Вони лімітуються лише можливостями відповідного комерційного пакета, складністю його використання в діалоговому режимі з багаторазовими перебудовами параметрів цільової функції та обмежень, а також наочністю відображення відомостей, які бажано довести до ОПР на кожному етапі вироблення компромісу. Ураховуючи це, можна стверджувати, що практичне застосування процедури можливе лише після розроблення програмної оболонки для роботи з відповідним комерційним пакетом, яка забезпечуватиме користувачів зручним інтерфейсом, необхідним для реалізації розглянутої людино-машинної взаємодії.

Література

1. *Штойер Р.* Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1992. — 504 с.

2. *Чибісов Ю. В., Шульга Ю. С.* Застосування методів багатокритеріальної оптимізації для вирішення задачі розподілу вагонів по вантажним фронтам / Ю. В. Чибісов, Ю. С. Шульга // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2014. — Вип. 7. — С. 134–138.

3. *Божанова Т. А.* Про узагальнені розв'язки однієї задачі векторної оптимізації на транспортних мережах. — [Електронний ресурс] / Т. А. Божанова, П. І. Когут // Динамические системы: Зб. наук. праць. — 2010. — Вип. 28. — С. 48–62. — Режим доступу: http://ww.dynsys.crimea.edu/issue/28/dynsys_28_bozhanova.pdf Вісник

4. *Прус Н. В.* Можливості застосування багатокритеріальної оптимізації при плануванні витрат промислового підприємства / Н. В. Прус // Вісник Хмельницького національного університету. — 2009. — № 3. — Т. 1. — С. 219–222.

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПАМ'ЯТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ

Актуальність підвищення надійності пам'яті інформаційних управляючих систем (ІУС) зумовлена тим, що, незважаючи на існування та практичне застосування методів підвищення надійності (МПН) запам'ятовуючих пристроїв (ЗП) ІУС, реальність є такою, що помилки в роботі ЗП є цілком ймовірними, особливо, урахувавши те, що вже зараз кількість електронних компонентів у сучасних інтегральних схемах (ІМС) досягає $10^8 \dots 10^{10}$, а в перспективі досягне $10^{12} \dots 10^{16}$. Наявність великої кількості запам'ятовуючих елементів (ЗЕ) призводить до відмов окремих комірок пам'яті. Ефективним виходом з такої ситуації є впровадження структурно-логічних МПН [1–3], економічна доцільність яких зумовлена деякими чинниками. Назвемо їх.

По-перше, на етапі експлуатації поява несправностей потребує або ремонту ЗП, або виключення звертання до несправних комірок. Останнє потребує корекції всіх розроблених на машинній мові програм, що не завжди можливо, наприклад, у разі їх запису в постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП). На технологічному етапі виготовлення такої великої кількості елементів на кристалі без дефектів фактично неможливо, а виключення зони дефектних комірок призводить до суттєвого зменшення ємності ЗП у 2^i рази (де $i = 1, 2, \dots$) та при цьому виключається велика кількість працездатних ЗЕ. Структурно-логічні методи дають змогу виключати з експлуатації компоненти, що відмовили, більш ощадливо.

По-друге, треба враховувати те, що вартість апаратних засобів знижується з більшою швидкістю, ніж вартість програмних. Тому економічно вигідніше застосовувати непрограмні засоби. На доцільність використання технічних засобів вказує і їх більша продуктивність [1]. Повна перевірка ІМС пам'яті неможлива. Наприклад, перевірка сучасних ІМС пам'яті потребує часу, що дорівнює $(3n^2 + 2n)2^n t$, де n — кількість комірок пам'яті і ІМС, t — цикл звертання до ІМС. Наприклад, для $n = 10^7$, і $t = 10^{-9} \text{с}$ це становить багато мільярдів років. Структурно-логічні МПН дають змогу впливати на причини появи помилок у ЗП.

По-третє, при відмові одного або кількох ЗЕ в ІМС пам'яті великої ємності можна чи замінити таку ІМС (що часто недоцільно), чи маскувати відмову (що набагато раціональніше та ефек-

тивніше). Це підтверджується статистикою відмов: а саме 85 % усіх відмов припадає на одиночні відмови ЗЕ накопичувача, 5 % і 6 % — на відмови рядка та стовпчика накопичувача, 4 % — це повна відмова ІМС. Зі збільшенням ємності накопичувача (збільшується площа кристала) зростає відсоток одиночних відмов накопичувача. Серед відмов 75 % — це відмови на зразок «генератор 1» і 25 % — «генератор 0».

Метою дослідження є якісне оцінювання, порівняльний аналіз і систематизація сучасного стану способів і засобів підвищення достовірності зберігання інформації у ЗП ІУС та огляд перспектив їх подальшого розвитку.

Нині основними структурно-логічними МПН є введення апаратної та часової надмірності [2, 3]. Найпростіші методи з них, які не є комбінацією інших, і можуть застосовуватись незалежно від інших, це такі структурно-логічні МПН, які засновані на введенні надмірності: інформаційне резервування, структурне резервування, часове резервування.

ІНФОРМАЦІЙНЕ РЕЗЕРВУВАННЯ В ЗП ІУС. Одним з основних методів введення апаратної надмірності в ЗП є використання коригувальних кодів (КК), які призначені як для виявлення, так і для виправлення помилок. Загальну (найпростішу) схему введення інформаційного резервування подано на рис. 1, де при використанні КК ЗП (RAM) підключають до шини даних D через блок-кодування-декодування CDU.

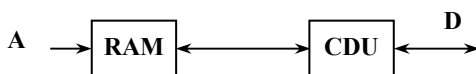


Рис. 1. Найпростіша схема введення інформаційного резервування в ЗП

Корегувальні властивості коду визначаються його надмірністю. Дійсно, якщо всі 2^n комбінації, де n — довжина коду, використані для представлення інформації, то збій будь-якого типу переводить одну інформаційну кодову комбінацію в іншу, і це перетворення виявити не вдається. Тому для виявлення і тим більше для виправлення помилок в n -розрядному коді повинна бути деяка кількість k контрольних розрядів, за допомогою яких створюються заборонені (неінформаційні кодові комбінації). У цьому разі виявлення помилок зводиться до виявлення заборонених кодових комбінацій, а виправлення — до визначення найбільш ймовірної інформаційної кодової комбінації, з якої в результаті збою була отримана ця заборонена комбінація.

Схему типової структури ЗП, що складається з адресного накопичувача (АДН), адресних кіл (АК) і розрядних кіл (РК), регістру слова (РС) і використовуючого коригувальний код (КК) [4], наведено на рис. 2 (без блоків, позначених пунктиром).

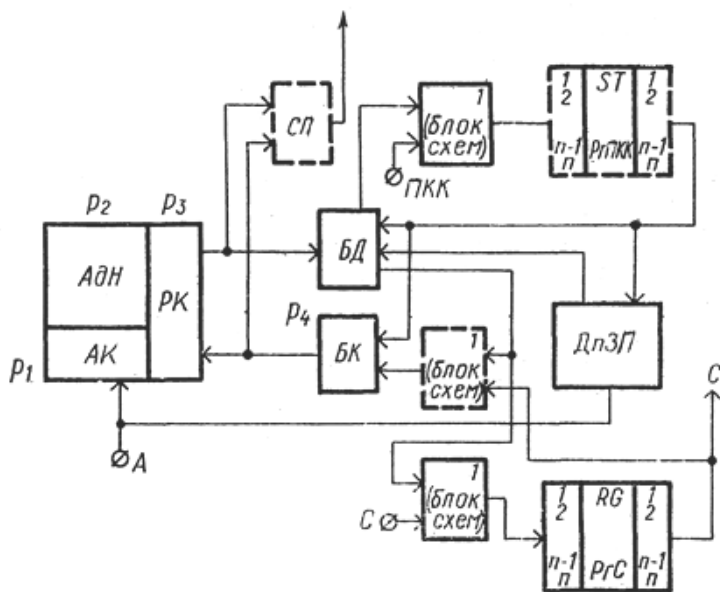


Рис. 2. Схема типової структури ЗП з використанням КК

У цій схемі блоки кодування (БК) і декодування (БД) роблять завадостійке кодування та декодування інформації при читанні й запису (спосіб 1). Блок управління, що здійснює синхронізацію роботи ЗП, тут і нижче умовно не показаний. У якості коригувальних кодів можуть бути використані коди Хеммінга, а також циклічні й інші коди [4, 5]. З метою корекції багатьох помилок можна використовувати багаторазове кодування або ділити слово на склади, кожний з яких кодувати незалежно від інших [2]. Останній випадок, з погляду поліпшення надійності корегувальних пристроїв, важливіший, ніж використання кодів, що виправляють багаторазові помилки [2, 3]. Використання в ЗП корегувальних кодів дає змогу виправити помилки, викликані відмовами й збоями в АДН, що є перевагою такої схеми порівняно із ЗП без апаратної надмірності. Однак вона має й недоліки, один з яких полягає в тому, що така схема ЗП не є стійкою до відмов (збоїв)

БК і БД. Щодо цього кращими є ЗП з контролем за методом Руднева (рис. 2 з блоками, зображеними пунктиром) [6] з використанням зворотного зв'язку між БК і БД, з повторним зчитуванням з АдН, декодуванням, кодуванням і видачею на схему порівняння (СП). Це дає можливість не тільки контролювати роботу БК і БД, а й у низці випадків виправляти помилки, що виникають у БД. Крім того, є також виграш у часі між відмовами, який зростає зі збільшенням ємності ЗП.

Розглянуті вище ЗП використовують корегувальний код постійної потужності. Під потужністю j корегувального коду мають на увазі здатність коду (або комбінацій коду) виправляти всі помилки до j -кратних включно. Наприклад, якщо потужність коригувального коду (ПКК) дорівнює 3, то цей код виправляє всі одиночні, подвійні й трикратні помилки. При використанні в описаних ЗП коду, який виправляє мінімальну кількість помилок, витрати устаткування найменші, однак при збільшенні кількості відмов його потужності буде недостатньо, щоб скорегувати всі помилки. Водночас застосовуючи потужний код за невеликої кількості відмов, частина його потужності буде не використовуватись, що через підвищену кодову надмірність та істотне зниження ефективної інформаційної ємності ЗП є нераціональним та економічно не виправданим.

ЗП (рис. 2) з регістром потужності корегувального коду (РПКК) [7] значною мірою позбавлений цих недоліків (спосіб 2). Характерною рисою такого ЗП є використання коду змінної потужності, поточне значення якої записується у РПКК.

У початковому стані, коли відмов у роботі АдН не було, РПКК установлюється на мінімальну ПКК, який дає змогу виправляти тільки одну помилку. З наближенням максимальної кратності помилок до величини ПКК остання збільшується, наприклад на одиницю, і вся інформація в АдН кодується могутнішим корегувальним кодом.

Таким чином, БК і БД описаного ЗП, залежно від кількості відмов, змінюють свої коригувальні властивості, що дасть змогу гнучкіше використовувати устаткування всього ЗП. Однак поряд з перевагами такої структури ЗП є й недоліки, одним з яких є складність побудови БК і БД. Крім того, у разі нерівномірного розподілу в АдН комірок, що відмовили (або відмов, викликаних помилками різної кратності), така структура ЗП буде неефективною. Це викликано тим, що в комірках, що мають малу кратність відмови, має місце підвищення кодова надмірність. І якщо перший недолік є наслідком ускладнення всього характеру роботи блоків

корекції, то щодо другого може бути запропоновано кілька способів підвищення ефективної ємності ЗП. Один з найочевидніших шляхів — це використання змінної ПКК не по всьому обсягу АдН, а по групах комірок [8] (рис. 2) — за допомогою додаткового ЗП (ДЗП), наприклад, постійного ЗП (ПЗП) (спосіб 3). У такому ЗП при звертанні до комірки основного накопичувача за адресою A відбувається одночасне звертання до ПЗП за адресою α . Уміст комірки α ПЗП (тобто ПКК) надходить на РС ПЗП, роль якого подібна до ролі РПКК.

Якщо замість ПЗП використовувати двостороннє ЗП, то можна автоматично змінювати величину ПКК для групи комірок. В усьому іншому робота описаного ЗП майже не відрізняється від раніше розглянутого пристрою пам'яті з використанням змінної ПКК. Більш гнучкою системою пам'яті, у якій відмови, що мають місце, ураховуються більш диференційовано й індивідуально, є ЗП з використанням змінної ПКК по змінних групах комірок. У цьому разі як ДЗП (рис. 2) використовують асоціативний накопичувач (АсН) (спосіб 4), у ознакову частину якого записують адреси комірок, що відмовили в Адн, а в інформаційну — величину ПКК, що застосовується для цих комірок.

При звертанні до АдН за адресою A , код A подається і в АсН, звідки надходить відповідь, чи зберігається ця адреса в ознаковій частини АсН. Якщо ні, то декодування кодового слова проводиться згідно з вмістом РПКК. Якщо ж ця адреса зберігається в АсН, то відбувається звертання до інформаційної частини комірки АсН і читання її вмісту на реєстр слову асоціативного накопичувача (РС АсН). У цьому разі вихід РПКК блокується, а БК і БД налаштовують свою роботу згідно з вмістом РС АсН.

Описаним чином ЗП працює доти, поки не відбудеться заповнення АсН і нового звернення для запису. За сигналом блоку зайнятості АсН «переповнення» відбувається запис такого сигналу в реєстр маски (РМ), щоб маскою був накритий один молодший розряд ознакової частини АсН. Усі комірки, які мають тепер однакові ознакові частини, належать до однієї групи (у цьому разі група складається з двох комірок) і перезаписуються тепер в АдН потужнішим корегувальним кодом. Цей код є максимальним з тих, що застосовувалися для комірок цієї групи. Отже, тепер у ознаковій частини АсН будуть не адреси комірок, а адреси груп комірок. АсН частково звільняється, і можна в міру виявлення відмов записувати в нього нові групи несправних комірок з відповідною для них величиною ПКК. При черговому переповненні АсН реєстр РМ забезпечує накриття чергового розряду в

ознаковій частині АсН, і тепер група складатиметься з чотирьох комірок і т. д. Таким чином, унаслідок зниження підвищеної інформаційної надмірності використання змінної ПКК за змінними групами комірок забезпечує найбільшу з усіх розглянутих схем ЗП корисну ємність пам'яті.

У зв'язку з перекодуванням слів у ЗП зі змінною ПКК залежно від ситуації виникає кілька проблем, а саме: побудова оптимального ряду кодів, які забезпечували б простоту реалізації БК і БД при прийнятному зниженні швидкодії ЗП; завдання ефективної адресації та розміщення кодового слова змінної довжини, а також адресація та зберігання усього масиву інформації, який також має змінний формат, що залежить від потужності корегувального коду. Назвемо режим роботи ЗП, за якого повністю зберігаються корисна інформація комірки, режимом постійної точності. Такий режим характерний тим, що зі збільшенням кількості відмов у комірці пам'яті точність представлення інформації не змінюється. Можливий і інший режим роботи, за якого зі збільшенням кількості відмов знижується точність збереженої в комірці інформації. При цьому довжина (формат) кодового слова не змінюється. Тому цей режим назвемо режимом постійної довжини кодового слова (ПДК). Для режиму ПДК відсутня проблема обробки в ЗП змінних масивів кодових слів, і все зводиться в основному лише до побудови простих і швидкодіючих БК і БД.

Для оцінки збільшення апаратури та зниження швидкодії використовуватимемо коефіцієнти апаратурної I і тимчасовий T надмірності, які дорівнюють

$$I = (C_f - C_0) / C_0, \quad T = (T_f - T_0) / T_0,$$

де C_0 — апаратурні витрати в умовних одиницях для ЗП без надмірності; C_f — апаратурні витрати в умовних одиницях ЗП тієї ж інформаційної ємності, побудованого по f методу; T_0 і T_f — час, який необхідний для звертання до ЗП відповідно без надмірності й з надмірністю за f методом.

Для методів з використанням коректуючих кодів (див. рис. 2) апаратурна надмірність представлена у вигляді блоків кодування і декодування (ε_1) і додаткових розрядів у комірках АдН (R) для зберігання контрольних біт. Зрозуміло, що $\varepsilon_1 \ll 1$ і не залежить від ємності накопичувача. Для оцінки R можна скористатися нерівністю [6]

$$2^{n-k} - 1 \geq \sum_{i=1}^q C_n^i$$

де n — кількість розрядів кодового слова для певного числа k інформаційних розрядів і величини ПКК, яка дорівнює q ; C_n^i — кількість поєднань з n по i . Тоді $R = (n - k) / k$. Зазвичай $R \approx 0,1 \div 1,5$ залежно від величини ПКК. Отже, $I_1 = R + \varepsilon_1$.

Для способу 2 маємо $I_2 = R + \varepsilon_2$, де $\varepsilon_2 \approx q \varepsilon_1$.

При використанні змінної ПКК за групами комірок, крім апаратних витрат R і ε_2 будуть ще апаратні витрати на ПЗП (спосіб 3) або АсН (спосіб 4). Тоді

$$I_3 = R + \varepsilon_2 + v_1 \mu_1, \quad I_4 = R + \varepsilon_2 + v_2 \mu_2,$$

де μ_1, μ_2 — приведені апаратні витрати на 1 біт відповідно ПЗУ й АсН в умовних одиницях, $\mu_1 < 1, \mu_2 > 1$; v_1, v_2 — відносна ємність відповідно ПЗУ й АсН порівняно з ємністю АдН, $v_1 < 1, v_2 < 1$.

Тимчасова надмірність T_1 зумовлена відносною затримкою δ_1 у БК і БД. Зрозуміло, що $\delta_1 \ll 1$.

Для способів 2, 3, 4 відповідно маємо $T_1 \approx T_1 \approx T_1 = \delta_2$, де δ_2 — відносна тимчасова затримка в БК і БД для кодів змінної потужності.

Основним недоліком розглянутих структур ЗП є нестійкість до помилок в адресних колах (АК) накопичувача. Підвищення достовірності роботи АК може бути здійснене введенням спеціальної контрольної апаратури й реалізоване шляхом як роздільного контролю вузлів АК, так і спільного контролю АК [4].

Для перевірки правильності функціонування регістра адреси (РА) на нього подається код адреси, а на один вхід СП — його контрольний код, утворений, наприклад, згортокою за деяким модулем або порозрядним інвентуванням (спосіб 5) [4, 11]. На другий вхід СП подається код, утворений за тим самим алгоритмом, але вже з виходів РА. Вихід СП сигналізує про неправильно записану інформацію (збій або відмова в роботі РА).

Суттєвий недолік методу — це виявлення помилки, але не виправлення її. Корекція помилково прийнятого коду можлива, наприклад, при використанні кодів, що виправляють помилки (спосіб 6) [9]. Згідно з методом, адреса представляється корегувальним кодом заданої потужності, а РА підключається до дешифратора адреси (ДА) через блок декодування адреси (БДА). У результаті можна не тільки контролювати роботу РА, а й корегувати код адреси, записаний з помилкою в РА.

Найвідоміші способи контролю дешифрації пов'язані з використанням шифратора (Ш), який з'єднаний з виходом або ДА [10], або адресних шин накопичувача [4] (спосіб 7).

Недоліки роздільного контролю усуває спосіб 8, що використовує запис в АдН [11]. При цьому в комірку накопичувача записується інформаційне слово й або повний код адреси цієї комірки, або контрольний код адреси. При зчитуванні цей код порівнюється з кодом відповідно або РА, або регістру контрольних розрядів коду адреси. Перевагою такого методу є, по-перше, відсутність спеціального шифратора адреси, а по-друге, те, що розряди накопичувача, який виділяються для запису адреси, нічим не відрізняються від розрядів слова, що дає змогу при конструюванні такого ЗП використовувати стандартне устаткування.

Метод контролю АК з використанням запису в адресний накопичувач АдН дає можливість здійснити спільний контроль правильності звернення за адресою й істинність записаного за цією адресою слова [11]. При цьому в контрольні розряди АдН записується сума контрольних кодів слова й адреси за деяким модулем (спосіб 9). При читанні слова знову утворений його контрольний код віднімається з вмісту контрольних розрядів цієї комірки АдН. Отриманий контрольний код адреси порівнюється з контрольним кодом, утвореним з коду адреси, який записаний у РА. Збіг цих кодів підтверджує істинність адреси зчитаної комірки й записаного в ній інформаційного слова. Перевага такого способу — економія устаткування за рахунок зменшення кількості контрольних розрядів в АдН. Недолік — залежність контролю АК від контролю інформаційних слів. Крім того, хоча метод контролю АК із записом в АдН охоплює всю адресну частину, ефективність такого контролю різна. Наприклад, виявляються збій і відмови кіл дешифрації й збої РА. Відмови РА й обрив АШ будуть виявлені тільки при читанні, тоді як метод з шифрацією взагалі не виявляє відмови РА. З цього погляду, контроль із записом в АдН ефективніший, ніж контроль з використанням Ш. Останній дає змогу контролювати АК як у режимі запису, так і в режимі зчитування, тоді як контроль із записом — тільки в режимі читання.

Усі наведені способи підвищення надійності ланцюгів дешифрації лише виявляють помилку, але не усувають її вплив. Контроль дешифраторів з використанням властивостей групових кодів [11] дає змогу усунути цей недолік. Основна ідея методу полягає в тому, що в результаті введення спеціальної надмірності на рівні елементів ДА із вбудованим кодом не реагує на двійкову послідовність, яка отримана в результаті спотворення одного з розрядів дешифрованого коду при його пересиланні або в результаті, наприклад, відмови елемента ДА. У цьому разі жодна з вихідних

шин ДА не збуджена, що виявляється схемою контролю, і відбувається перемикання на другий паралельно включений ДА (спосіб 10). Нормальне функціонування ланцюгів дешифрації можливо доти, поки не вийдуть з ладу обидва однойменних виходів дешифраторів.

З метою виявлення багаторазових помилок у багатоступінчастих дешифраторах з імовірністю, яка дорівнює одиниці, можна інформаційні розряди дешифрованого коду розбивати на групи й вводити надлишкові розряди в кожну групу. Це дає змогу підвищити ефективність контролю дешифраторів з використанням кодів. Перевагами цього методу є: мінімально можлива надмірність, відсутність додаткових витрат часу й повний контроль і корекція адресної частини АдН (крім АШ).

Ще менший рівень надмірності (практично без додаткового устаткування у системі РА—ДА) і усунення впливу обриву АШ дають можливість досягти використання методу їх резервування (спосіб 11) [12]. При незбудженні виходів ДА пристроєм виявлення видається сигнал на підключення резервної АШ, куди й відбувається звернення.

Для підвищення ефективності контролю можна виходи ДА розбити на групи, кожна з яких матиме резервну АШ.

Таким чином, цей метод не тільки фіксує обрив АШ або несправність ДА, а й автоматично виправляє їх наслідки. Недолік методу полягає в тому, що, по-перше, він усуває тільки такі відмови, поява яких призводить до відсутності збудженої АШ; по-друге, метод не стійкий проти збоїв ДА та збоїв і відмов РА. Тому цей метод переважно застосовують разом з іншими методами підвищення надійності АК, наприклад, з методом запису в АдН.

Закінчуючи розгляд методів підвищення надійності АК, необхідно зазначити, що жоден з них не є універсальним. Наприклад, найповніший контроль АК забезпечує метод з використанням Ш, однак він не дає змоги корегувати роботу РА, ДА й виправляти наслідки обриву АШ. Тому або перевагу слід віддавати такому методу, який найстійкіший до характерних несправностей проєктованого пристрою, або спільно використовувати кілька методів. З погляду повноти контролю й можливості «обійти» несправності, слід використовувати спосіб 10 контролю дешифратора з вбудованим кодом разом з резервуванням АШ. Це дасть змогу за помірної надмірності й помірного зниження швидкодії виправляти всі помилки, викликані відмовами й збоями РА, проміжних підсилювачів, ДА й обривами АШ.

Усунути недоліки, властиві методу корегувальних кодів і методам підвищення надійності АК, дає можливість використання резервування.

СПОСОБИ СТРУКТУРНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ ЗП ІУС.

Щодо ЗП будемо розрізняти об'ємно-повне (загальне) та об'ємно-неповне резервування. Під загальним резервуванням мають на увазі таке, за якого для кожної інформаційної комірки передбачається принаймні одна резервна, де записана така ж сама або перетворена за визначеним алгоритмом інформація.

Загальну найпростішу схему введення апаратурної надлишковості представлено на рис. 3, де А — це адреса, за якою відбувається звертання до всіх i ЗП, позначених RAM_i ($i = 1 \dots K$). Їх інформаційний вхід — вихід (дані D_i) контролюються схемами контролю CHU.

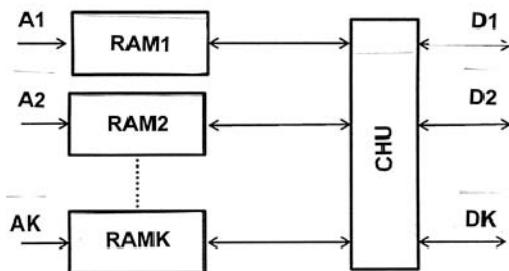


Рис. 3. Найпростіша схема введення структурного (об'ємно-повного) резервування

Прикладами такого резервування ЗП є збільшення втриє або вчетверо кількості робочих комірок з підключенням виходів адресних накопичувачів (АдН) до мажоритарного органу, який працює за принципом «два з трьох». Однак триразова надлишковість (а тим більше чотириразова) виявляється не завжди прийнятною для ЗП великої ємності.

Нині відомі ЗП, у яких використано дублювання АдН (спосіб 12). Дві половини ЗП одночасно зчитують або отримують дані. У комп'ютер ІУС надходять дані від одного АдН, але другий також перебуває у роботі. Коли знаходять помилку в використовуваному АдН, яка викликана збоєм або відмовою запам'ятовуючої комірки, сигнал від CHU спрацьовує таким чином, що дані в комп'ютер ІУС починають далі вводитися від другого АдН. Одночасно відбувається корекція (перезапис) інформації в розряди з

помилкою першого АдН згідно з умістом того ж розряду в справному АдН. Другий АдН працює таким чином доти, поки не буде виявлена й виправлена помилка, після чого відбудеться переключення на першу половину ЗП і т.д. Завдяки переключенням від одного АдН до другого забезпечується безперервна безпомилкова робота ЗП доти, поки не з'являться помилки в однойменних комірках обох АдН. Подібна структура ЗП та організація зберігання інформації отримала свій подальший розвиток у RAID — технологіях різних варіантів організацій зберігання масивів. (Абревіатура RAID утворена від *Redundant Arrays of Independent Discs* — надлишковий масив незалежних дисків).

Резервування (Р), особливо за кратності $K \geq 3$ (рис. 3), вимагає значної апаратної надмірності. Практичні приклади резервування дублюванням ($K = 2$) для бортових комп'ютерів систем управління в стратегічних ракетах «Saturn-1» та «Saturn-V» (США), резервування потверненням ($K = 4$) систем керування в радянському пасажирському надзвуковому літаку «ТУ-144» [2], резервуванню всіх пристроїв в космічному кораблі Voyager (1977 р.) [1], багаторазове резервування в системі Galileo (1986 р.), багаторазовому космічному кораблі Shuttle з подальшим мажоритарним порівнянням кількох рішень, дев'ятикратне мажоритарне резервування в сучасних авіаційних комп'ютерних системах військових літаків пояснюється специфічною важливістю застосування [1, 13].

Упровадження Р в ЗП (RAM) реалізує виявлення та виправлення помилок в адресних і розрядних колах і потребує введення схем контролю (CHU). У такій найпростішій схемі введення апаратної надмірності (резервування) в ЗП виявляються помилки, які викликані як відмовами, так і збоями.

Подальше зменшення надмірності можна отримати за рахунок використання об'ємно-неповного резервування, за якого кількість резервних комірок менша, ніж кількість інформаційних (спосіб 13).

Перевагою розглянутої схеми ЗП є простота та мала надмірність. Проте в такому ЗП відбувається корекція помилки, яка викликана лише відмовою і тільки в одному розряді комірки. Виправлення помилок в адресних ланцюгах (АЛ) і помилок унаслідок збоїв і відмов у двох і більше розрядах комірки АдН не відбувається. Крім того, використання ПЗП знижує гнучкість у роботі ЗП, а поява збоїв у комірці з відмовленим запам'ятовуючим елементом призводить зазвичай до невиявлення помилок.

Виправляти багатократні помилки, які викликані відмовами разрядних ланцюгов (РЛ), і ліквідувати несправності АЛ дає змогу, наприклад, ЗП, у якого розрядність додаткового ЗП (приміром, АдН) збігається з розрядністю основного ЗП (спосіб 14). Проте, як і розглянуті вище структури ЗП, ця схема не стійка до збоїв РЛ та АЛ.

Значно кращих результатів дає можливість досягти спосіб резервування Аммосова [2, 3] (спосіб 15). У цьому разі для резервування, наприклад, двох АдН, вводиться резервний накопичувач, у який записують інформацію, отриману шляхом додаванням по *mod2* слів з основних АдН з однаковими адресами. При відмові одного з Адн для отримання інформації, яка записана в ньому, відбувається звернення до справного АдН і до резервного. Необхідну інформацію отримують додаванням обраних слів по *mod2*. У цьому випадку з трьох накопичувачів робочими є два, тобто надлишковість становить 1,5, що є безсумнівно перевагою такого ЗП. Вочевидь, що за великої кількості робочих АдН надмірність такої запам'ятовуючої системи буде меншою. Ідея, яка була запропонована Аммосовим, отримала розвиток в ІУС при побудові в подальшому RAID-систем різної структури.

Ще більше зменшити надлишковість дає змогу ЗП з використанням в якості резервного асоціативного накопичувача (АсН) [3, 14] (спосіб 16), комірки якого слугують для резервування комірок, які відмовили. Для цього в ознаковій частині АсН записуються адреси комірок АдН, які відмовили, а в інформаційній частині — їх вміст. У разі звернення до комірки пам'яті, яка відмовила, і адреса якої записана в АсН, відбувається блокування АдН і звернення здійснюється до інформаційної частини АсН. Можливо також заміщення не всієї комірки, а лише її частини, яка містить відмовлений запам'ятовуючий елемент. Структура такого ЗП подібна до розглянутої вище, тільки в АсН додатково вказується номер складу слова АдН, який відмовив. Через те, що в АсН зберігається не все слово, а тільки його склад, подібна організація ЗП дає змогу значно зменшити об'єм пам'яті АсН без зниження швидкодії.

В описаних схемах ЗП за малої кількості відмов в основному накопичувачі додаткове ЗП майже не використовується, що призводить до непотрібної апаратурної надмірності й зменшення ефективної пам'яті комп'ютера ІУС. Проте, якщо з часом кількість відмовлених комірок перевищить об'єм ДпЗП, то в основному ЗП буде відмова, хоча низка комірок ЗП ще буде придатна для подальшого використання. У зв'язку з цим виникає завдання

розроблення ефективніших методів підвищення надійності ЗП. Рішення цієї проблеми слід шукати у використанні ідей самоорганізації, а саме в створенні ЗП, що адаптуються до виникаючих збоїв і відмов шляхом зміни режиму роботи. Така запам'ятовуюча система (спосіб 17) побудована за модульним принципом і дає змогу знизити інформаційну ємність з $2M$ модулів до M за високого рівня надійності, тобто здатна адаптуватися до ситуації, що виникла, і дозволяє повніше й раціональніше використовувати весь технічний ресурс устаткування.

Проблеми, що виникають у зв'язку з побудовою резервованих ЗП з адаптацією, простіші, ніж при використанні кодів змінної потужності, і все зводиться до завдання ефективної організації пересилання по ієрархії пам'яті вмісту тих фізичних комірок АСН, які починають працювати на підміну комірок АдН, що відмовили.

Використання способів резервування ЗП дає змогу виправляти помилки будь-якої кратності, робити корекцію помилок, викликаних відмовами в АК і РК без тимчасових витрат (або з малими тимчасовими витратами) і без переривання функціонування ЗП. Для резервованих ЗП характерна висока ефективність визначення й локації помилки й незалежність основних якісних властивостей ЗП від характеру розподілу відмов у комірці [1].

Щодо структур ЗП за способом резервування необхідно зазначити, що, маючи згадані вище властивості стосовно стійких помилок (відмов), метод резервування ЗП не завжди ефективний для «маскування» впливу помилок, що мають часовий характер. Унаслідок цього для резервованих ЗП необхідно передбачати або наявність якогось контролю (наприклад, по парності), або використовувати їх разом з іншими методами.

СПОСІБ ОБХОДУ КОМІРОК, ЩО ВІДМОВИЛИ. Перспективним способом використання технічного ресурсу ЗП на інтегральних схемах і створення ЗП, стійких до наслідків відмов, є обхід комірок АдН, що відмовили. У деякому сенсі цей метод можна вважати особливим різновидом методу резервування, який властивий в основному тільки ЗП. Як за методом резервування, так і за методом обходу має бути деяке «поле резервування» для зберігання тієї додаткової інформації, яка підмінює спотворену інформацію у комірці АдН. Відмінність полягає в алгоритмах роботи, тому метод обходу комірок, що відмовили, часто називають методом переадресації, хоча остання назва ширша за змістом.

Одним зі способів переадресації є спосіб обходу комірок, що відмовили, Аммосова (спосіб 18) [15], Нехай в АдН комірка, що відмовила, має адресу 0101101010, де старші розряди, наприклад

чотири розряди коду адреси, утворюють номер групи комірок, а інші — номер комірки в групі. Згідно зі способом проводиться звернення за адресою, код якого є сумою по mod 2 адреси програми й зворотного коду адреси групи комірок, що відмовили. Таким чином, тепер звернення відбувається не до комірки з адресою 0101101010, а до комірки з адресою, утвореною сумою

$$\begin{array}{r} 0101101010 \\ \oplus \\ 1010 \\ \hline 1111101010 \end{array}$$

Це дає змогу обійти відмови як у розрядних, так і в адресних колах груп комірок (знак $\oplus$ означає суму по mod 2). Якщо ж є відмова в адресних колах комірки в групі, то аналогічно модифікують адресу останньої, і тепер при звертанні до комірки з адресою 0101101010 фактично відбудеться опитування комірки з адресою 0101111111.

Недолік цього способу в тому, що вже при єдиній відмові група комірок, код адреси якої 111...11, стає резервною, тобто ефективна ємність ЗП знижується доволі значно. У разі ж відмови комірки, що перебуває всередині групи, і модифікації її адреси може відбутися втрата раніше записаної інформації в комірці, яка тепер працює на підміну. Крім того, якщо кількість комірок, що відмовили, більше кількості в групі 111...11, то це призводить до відмови.

Рациональнішим є спосіб переадресації, за якого для запису адреси підмінюючої комірки використовуються справні розряди, що залишилися, у відмовленій комірки АдН. При цьому передбачається, по-перше, наявність у комірці двох додаткових розрядів — маркерів, які свідчать про інформаційний вміст комірки АдН (наприклад, код 11) або про те, що в цій комірці зберігається код адреси підмінюючої комірки (у додаткових розрядах записаний код 00); по-друге, довжина інформаційної комірки повинна щонайменше вдвічі рази перевищувати довжину коду адреси ЗП.

При виникненні відмови відбувається запис у маркерні розряди комірки коду 00, а в інформаційні розряди комірки (у її ліву й праву частину) — коду адреси підмінюючої комірки. При зчитуванні схемою контролю визначається та частина комірки, де код комірки, яка підміняє, записаний правильно, і надалі відбувається звертання до комірки АдН за цим кодом адреси.

У разі, якщо немає можливості зробити безпомилковий запис коду адреси підмінюючої комірки як у праву, так і в ліву частини

інформаційної комірки через відмову запам'ятовуючих елементів (чарунок у комірці) в обох частинах, можна скористатися додатковим ЗП з комірками, у яких записані коди адреси комірки, що відмовила, й підмінюючої її комірки. При звертанні до комірки основного АдН, якщо в її маркерних розрядах записаний код 00, а схема контролю блокує видачу з основного АдН коду адреси підмінюючої комірки через її несправність, відбувається звертання до ДпЗП. Уміст комірок цього ЗП послідовно зчитується і порівнюється з вмістом РгА. При порівнянні коду адреси комірки АдН, до якої відбувається звернення, з вмістом першої половини комірки відповідності (тобто з кодом адреси комірки, що відмовила) відбувається видача на РгА вмісту іншої частини комірки відповідності, тобто коду адреси підмінюючої комірки. По цьому коду й відбувається остаточне звертання до АдН.

Більш гнучка структура ЗП виходить за такого обходу відмовлених комірок ЗП, за якого в ознакові частини АсН записуються адреси комірок, які відмовили, а в інформаційні — адреси комірок, які їх підмінюють (спосіб 19). У цьому разі при зверненні до відмовленої комірки АдН буде відбуватися запис у справну комірку ДпЗП або в останню комірку основного АдН. При виникненні ще однієї відмови аналогічно відбувається звернення до іншої комірки адресного додаткового ЗП або до комірки основного Адн, наприклад, останньої. Фактично роль ДпЗП виконують справні комірки основного АдН, які й здійснюють підміну комірок, що відмовили.

Запам'ятовуючий пристрій з адаптивною переадресацією [3] (спосіб 20), також дає змогу обійти відмови в АК. Недоліком такого ЗП є нестійкість до збоїв і необхідність багаторазового підсумовування, що знижує швидкодію пам'яті комп'ютера.

Значною мірою зменшує недолік використання вузлових адрес. Під вузловою адресою розуміють адресу, для якої відбувається зміна константи модифікації K_m . Пошук константи модифікації в АсН здійснюється за запитуваній адресі, тобто відбувається порівняння його з адресами, записаними в ознакових розрядах АсН. Потім відбувається формування виконавчої адреси шляхом підсумовування запитуваної адреси з константою модифікації, яка обирається з тієї комірки АсН, у ознаковій частині якої записаний запитувана або найближча менша адреса. Це усуває необхідність багаторазового підсумовування.

Недолік описаних способів переадресації полягає в тому, що вже при єдиній відмові в комірці необхідна інша комірка, її підмінююча, хоча найчастіше доцільно замінити тільки ту частину

запам'ятовуюючих елементів (чарунків) у комірці, у яких спотворена інформація.

ЗАСТОСУВАННЯ ТИМЧАСОВОЇ НАДМІРНОСТІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗП ІУС. Розглянуті раніше МПН ЗП засновані на використанні додаткової апаратури. Однак з цією же метою можна вводити й тимчасову надмірність, яка дає змогу звести до мінімуму апаратурні витрати.

Найпростішою формою введення тимчасової надмірності є використання багаторазового зчитування з наступною подачею результатів читання на порозрядні мажоритарні елементи (рис. 4, спосіб 21) [1–3], що працюють за принципом більшості. Однак цей принцип сприяє усуненню впливу тільки збоїв, а не відмов.

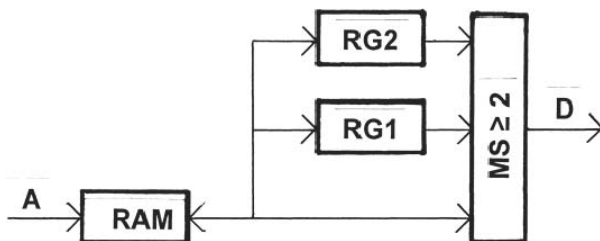


Рис. 4. Найпростіша схема багаторазового звертання без перетворення слів

Одним зі способів багаторазового звертання з перетворенням слів (рис. 5) є спосіб запису й зчитування прямих і зворотних кодів з наступним порозрядним порівнянням, що дає змогу виявити, а в деяких випадках і виправити помилки, викликані відмовами будь-якої кратності [3] (спосіб 22).

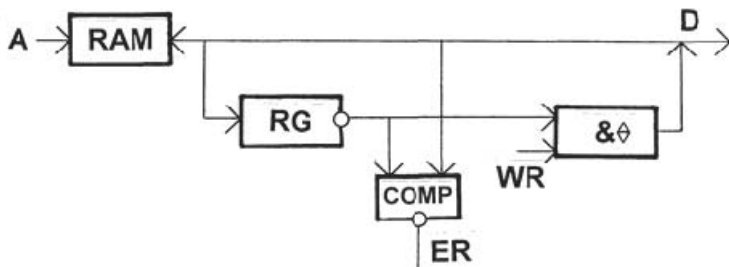


Рис. 5. Найпростіша схема багаторазового звертання з перетворенням слів

Припустимо, що в АдН було записане слово $c = 01001101$, а при читанні було отримане слово $c_1 = \underline{1}100\underline{0}101$ (підкреслені цифри — це розряди комірки пам'яті АдН, що відмовили). Згідно зі способом відбувається порозрядне інвертування цього слова з наступним записом у ту ж комірку пам'яті. Інвертоване слово матиме вигляд $c_1 = 00111010$. При повторному читанні з цієї ж комірки на РгС буде зчитаний код $c_2 = 10110010$, порозрядне порівняння якого з кодом інверсного слова c_1 дає номери ЗЕ, що відмовили. Наступне інвертування c_2 дає змогу отримати правильний результат — слово 01001101 . Однак так буде не завжди. Припустимо, що має місце відмова тільки типу «генератор 0» або «генератор 1». Позначимо через D_0 напрям «залипання» ЗЕ $D_0 \in \{0,1\}$, через D_3 — цифру, яку записують у цей ЗЕ, а через B — можливість (+) або неможливість (–) корекції помилки.

Таблиця 1

D_0	0	0	1	1
D_3	0	1	0	1
B	–	+	+	–

Як видно з табл. 1, спосіб забезпечує виправлення помилки в комірці на наборах D_0 , D_3 , які дорівнюють 01 і 10. На наборах 00 і 11 відбудеться виявлення відмови, але наступна «корекція» утворить помилку, оскільки напрям D_0 збігається з D_3 . У загальному випадку відносно число Δ_j помилок, що виправляються, у комірці з j -кратною відмовою дорівнює $\Delta_j = 2^{-j}$.

Таким чином, введення тимчасової надмірності в ЗП дає змогу звести до мінімуму апаратні витрати на виявлення помилок. Однак коригувальні можливості методу доволі обмежені, при цьому слід ураховувати зниження ефективної швидкодії ЗП.

КОМБІНАЦІЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ КОНТРОЛЬНОЇ АПАРАТУРИ ТА ТИМЧАСОВОЇ НАДМІРНОСТІ. Використання контрольної апаратури для виявлення несправностей ЗП не дає змоги виправляти помилки. Однак у низці випадків введення тимчасової надмірності створює таку можливість.

Як приклад такої комбінації апаратної й тимчасової надмірності розглянемо ЗП з роздільними АК читання і запису. Часткова несправність адресних ланцюгів запису (обрив) не приводить до функціональної відмови таких ЗП, оскільки при виявленні несправності можливе відновлення працездатності, наприклад за

рахунок резервування коміркою зі справними адресними колами запису. Водночас завдання ускладнюється за наявності обриву в адресних ланцюгах читання. Подібна несправність може суттєво вплинути на перебіг і результат розв'язку задачі, бо у відповідній адресі можуть зберігатись як результати обчислень, для відновлення яких необхідний повторний розв'язок задачі, так і вихідна інформація, для відновлення якої потрібне повторне її введення у ЗП (спосіб 22).

За сигналом «Обрив» відбувається повторна видача зчитування, але вже не на адресні ланцюги читання, а на адресні кола запису. Ураховуючи те, що напрям струму по адресному ланцюгу протилежний адресному ланцюгу зчитування, на розрядні шини читання буде поданий зворотний код інформаційного слова, що зберігається в комірці, прямий доступ сигналу зчитування до якої неможливий. При цьому передбачається, що підсилювачі читання чутливі до обох полярностей сигналу. Потім з регістру слова РгС здійснюється читання зі зверненням, наприклад, до процесора або на одну з резервних адрес, куди слово запишеться в первісному вигляді.

Таким чином, введення тимчасової надмірності (повторна видача сигналу зчитування) і незначне збільшення апаратури за рахунок введення БК дасть змогу більш оптимально усувати зазначену несправність ЗП.

КОМБІНАЦІЯ МЕТОДІВ РЕЗЕРВУВАННЯ Й КОРЕКТУЮЧИХ КОДІВ В ЗП ІУС. Спільне використання резервування й коригувальних кодів є доволі перспективним для підвищення надійності ЗП. Наприклад, у раніше розглянутому ЗП з використанням у якості резервного АсН ємність останнього обмежує кількість несправних комірок, при якому можливо функціонування ЗП. Крім того, не усуваються помилки, викликані збоями.

Однак резервування дає змоги корегувати помилки в усіх блоках ЗП, викликані відмовами великої кратності. Водночас використання у ЗП кодів з виправленням помилок великої кратності не раціонально через значні апаратурні витрати, але дає можливість виправляти помилки, викликувані збоями в АдН. Комбінація цих методів значно зменшує згадані недоліки.

У такому ЗП (спосіб 23) АсН використовується для запам'ятовування адрес комірок, що відмовили, а їх інформаційні частини — для заміни несправних комірок АдН.

Регістр потужності коригувального коду РгПКК встановлюється на мінімальну потужність. Якщо при звертанні до ЗП код

запитуваної адреси зберігається в АсН, то відбувається блокування АдН, і читання здійснюється з АсН. Якщо ж запитувана адреса не зберігається в АсН, то відбувається звертання до АдН через БК і БД, які управляються вмістом РгПКК. При переповненні АсН по сигналу із блоку зайнятості БЗ збільшується потужність коригувального коду (до вмісту РгПКК додається, наприклад 1, унаслідок чого БК і БД настроюються на відповідний код), проводиться перезапис закодованої в цьому коді інформації в АдН, визначаються адреси несправних комірок, у яких відмов більше однієї. При цьому ті адреси несправних комірок, помилки в яких виправляються застосуванням у цьому циклі коригувальним кодом, не записуються в АсН. Таким чином, АсН частково звільняється, і можна записати в нього адреси несправних комірок у міру їх виявлення коригувальним кодом.

Більш гнучка структура ЗП з використанням резервування й корекції кодами використовує підміну комірок, що відмовили в АдН, комітками АсН1 і фіксацією кратності відмов у АсН2.

Таким чином, описані способи організації роботи ЗП дають змогу поліпшити використання технічного ресурсу всього устаткування за рахунок адаптації режиму роботи ЗП до існуючої ситуації.

КОМБІНАЦІЯ МЕТОДІВ РЕЗЕРВУВАННЯ Й ОБХОДУ КОМІРОК, ЩО ВІДМОВИЛИ. Розглянуті вище методи резервування й обходу комірок, що відмовили, мають низку недоліків. Назвемо їх.

Метод резервування, по-перше, зазвичай припускає застосування одного й більше резервних накопичувачів. По-друге, ємність резервних накопичувачів у таких ЗП використовується не ефективно, особливо за малої кількості відмов.

Перевагою ЗП з резервуванням комірок, що відмовили, є практично незмінне (як у нерезервованих ЗП) час звертання до комірки й ефективна інформаційна ємність.

ЗП, побудовані з використанням методу обходу, гнучкіше використовують інформаційну ємність накопичувача. Однак вони мають меншу швидкодію, ніж резервовані ЗП, і їх ефективна інформаційна ємність зі збільшенням кількості комірок, що відмовили, знижується. Такі ЗП зазвичай також мають у своєму складі додатковий накопичувач.

Комбінація цих методів дає змогу «підсилити» позитивні особливості методів і суттєво зменшити їх недоліки. Подібна комбінація резервування й обходу доволі ефективна, особливо щодо інтегральних ЗП. Вона дає змогу досягти в ЗП сталості

ефективної ємності накопичувача зі збільшенням кількості комірок, що відмовили, без використання резервного додаткового накопичувача.

Необхідно також зазначити, що тимчасові витрати за такої організації незначні, оскільки перетворювач коду, по суті, є комбінаційною схемою, що реалізує перетворення «ЗАПИТУВАНА АДРЕСА — КОМБІНАТОРІАЛЬНА АДРЕСА». Затримка в цій схемі невелика й становить не більш як 5...10 % повного циклу звертання до ЗП.

**ЗАГАЛЬНЕ РЕЗЕРВУВАННЯ І ТИМЧАСОВА НАДМІР-
НІСТЬ У ЗП ІУС.** Застосування загального резервування і тимчасової надмірності сприяє суттєвому поліпшенню надійності характеристики ЗП порівняно із ЗП, що використовують тільки резервування. Як приклад розглянемо ЗП, у якому поєднується дублювання з тимчасовою надмірністю (спосіб 25) [16].

Зчитані за запитованою адресою A слова подаються на відповідні регістри $PgC1$, $PgC2$ і схемі СПК, яка за наявності рівності дозволяє видачу коду з $PgC1$ через блок схем АБО на вихідний регістр слова $ВихPgC$. У разі невиконання рівності вміст $PgC1$ і $PgC2$ перезаписується відповідно на $PgC3$ і $PgC4$. У ті ж комірки $АдН1$ і $АдН2$ здійснюється запис зворотних кодів з $PgC1$ і $PgC2$ і наступне зчитування цих кодів на ці ж регістри. Коди з $PgC1$ ($PgC2$) і $PgC3$ ($PgC4$) надходять на схему порозрядної перевірки СПП1 і СПП2. При розбіжності прямого й зворотного кодів однойменних розрядів схеми порозрядної перевірки надсилають дозволяючі сигнали відповідно на $PgC1$ і $PgC2$ на видачу через схеми АБО вмісту тільки цих розрядів. Видача вмісту розрядів $PgC1$ і $PgC2$ відбувається в зворотному коді, тобто на $ВихPgC$ надходить прямий код первісного вмісту розрядів комірки накопичувачів.

Подібна комбінація часової надмірності з дублюванням, по-перше, сприяє виявленню відмови та збоїв у АК, і, по-друге, така структура, на відміну від розглянутого вище подвоєння дає змогу працювати за наявності відмов в однойменних комірках обох $АдН$ [17, 18].

На рис. 6 показано [18] підвищення надійності зберігання інформації в такій пам'яті з роздільним резервуванням ЗЕ накопичувача. Для порівняння надійності відомих ЗП із загальним резервуванням комірок RAID1 та надмірних у часі ЗП з роздільним резервуванням комірок визначалися ймовірності безвідмовної роботи першого й другого ЗП (P_{zn1} та P_{zn11}), які мають m дублюючих один одного накопичувачів по N комірок кожний n розрядності.

Підвищення ξ ймовірності безвідмовної роботи (для дублювання $m = 2$) графічно в логарифмічному масштабі $\lg \xi(p)$ відображає рис. 6 (за уяви, що $P_{k1} \approx P_{k11}$ і $P_e \approx 0,99$ для $n = 8, 16, 32, 64$ біт і $N = 0,5K; 1K$).

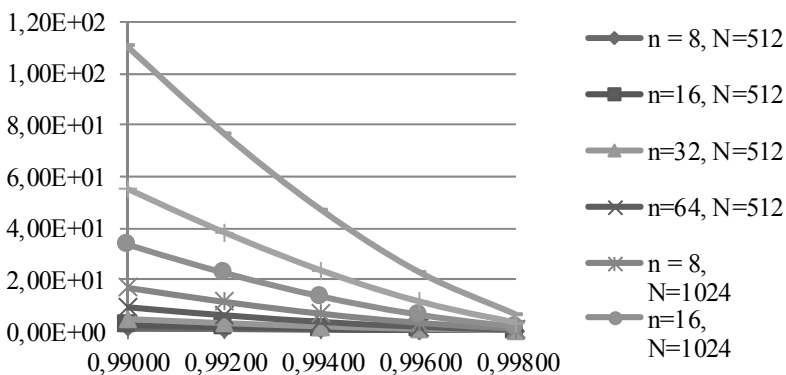


Рис. 6. Підвищення надійності зберігання інформації в пам'яті з роздільним резервуванням ЗЕ накопичувача

Як бачимо, зі зростанням n і N величина ξ суттєво зростає і при цьому тим більше, чим менше p .

Подібна реалізація роздільного резервування комірок ЗП шляхом введення часової надмірності дає змогу значно підвищити ймовірність безвідмовної роботи ЗП ціною незначного ускладнення апаратури та алгоритму функціонування контролера RAID1 ЗП. Відносне підвищення ймовірності безвідмовної роботи ЗП зростає зі зменшенням надійності запам'ятовуючих елементів комірок і зі збільшенням ємності та розрядності комірок ЗП.

Може бути перспективним застосування часової надмірності також для RAID0, RAID5, RAID6, RAID10, RAID50 та RAID60.

ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНАЦІЇ КОРИГУВАЛЬНИХ КОДІВ І ТИМЧАСОВОЇ НАДМІРНОСТІ. Застосування коригувального коду для забезпечення необхідної стійкості пам'яті до збоїв і відмов вимагає введення додаткових контрольних розрядів. За заданої ємності накопичувача використання коригувальних кодів здійснюється за рахунок зменшення кількості інформаційних розрядів комірок і веде до зменшення ефективної (інформаційної) ємності ЗП.

Скоротити кількість контрольних розрядів без зниження коригувальних властивостей кодів можна, застосувавши тимчасову надмірність.

При запису інформаційне слово надходить у регістр кодового слова РгКС1, а потім через блок схем АБО, блок кодування БК і розрядні ланцюги РК у комірку АдН.

При читанні вміст комірки АдН надходить через РК, блок декодування БД і блок схем АБО в РгКС1. БД визначає наявність помилки з кратністю, яка перевищує його коригувальну здатність. При відсутності сигналу помилки з БД вміст інформаційних розрядів РгКС1 надходить через блок схем АБО на вихід.

За наявності сигналу помилки вміст інформаційної частини РгКС1 на вихід не надходить, а проводиться повторне зчитування вмісту тієї ж комірки в РгКС2. Якщо помилка виправлена, вміст інформаційної частини РгКС2 надходить на вихід. Якщо ж виправлення помилки не відбулося та відсутній сигнал на виході схеми рівності кодів (СРК), то видача інформації з РгКС2 не проводиться і знову здійснюється зчитування на регістр РгКС1 і т.д. У разі відсутності сигналу помилки з БД вміст інформаційної частини того РгКС, в який останній раз здійснювався запис, видається на вихід. За наявності сигналу рівності на СРК і сигналу помилки на БД здійснюється виправлення помилки, яка викликана відмовою. Для наочності розглянемо приклад.

Припустимо, у комірку АдН було записане кодове слово з інформаційною частиною 01001101, а внаслідок відмови зчитане кодове слово має вигляд 11001101. Після запису в ту саму комірку інверсного коду інформаційного слова й зчитування його матимемо 10110010, що після інвертування в РгКС дає правильне слово 01001101 на виході ЗП.

Таким чином, якщо в такому пристрої пам'яті використовувати код, що виявляє одиничну помилку, то воно буде справно працювати при тих самих одиничних відмовах, що й звичайне ЗП з використанням, наприклад, коду Хеммінга. Такий пристрій пам'яті має більшу інформаційну ємність накопичувача, що свідчить про перевагу ЗП з комбінацією кодової й тимчасової надлишковості.

Зазначимо, що, крім використання кодів зі здатністю виявляти фіксовану кількість помилок у слові, можливо аналогічно коригувальним кодам змінної потужності застосовувати коди (або комбінації кодів), які мають здатність виявляти змінну кількість помилок у слові. Уведемо поняття сили коригувального коду (СКК). Під силою j корегувального коду розуміють його здатність виявляти помилки кратності від 1 до j включно. Очевидно, що комбінація

використання в ЗП кодів змінної СКК і тимчасової надмірності дає змогу здійснювати корекцію помилок у накопичувачі меншими апаратурними засобами, ніж, наприклад, використання тимчасової надмірності й коригувальних кодів змінної потужності.

Застосування в запам'ятовуючих пристроях (ЗП) корегувальних кодів пов'язане з уведенням інформаційної надмірності, величина якої тим більша, чим вища коригувальна здатність коду. Це є недоліком, оскільки при постійній загальній ємності ЗУ призводить до зниження його ефективної (корисної) ємності або при постійній ефективній ємності викликає зниження надійності зберігання інформації.

Зазначені недоліки можуть бути зменшені за рахунок спільного використання тимчасової й інформаційної надмірності, що створює можливість: а) підвищення ефективної ємності ЗУ при тій самій надійності зберігання інформації або б) підвищення надійності зберігання інформації при тій самій ефективній ємності ЗП.

Розглянемо деякі можливі способи комбінації тимчасової й інформаційної надмірності в ЗП, який містить комірки із запам'ятовуючими елементами, що відмовили (ЗЕ). Способи засновані на записі й зчитуванні прямих і зворотних кодів. Це дає змогу виявити стійкі відмови ЗЕ за збігом цифр у прямому й зворотному кодах, зчитаних з певної комірки. Якщо при цьому є інформація про наявність помилки в зчитаному слові, то з'являється можливість взагалі усунути помилку.

Спосіб А [17, 19]. Припустимо, що використовуваний корегувальний код виправляє будь-яку одиничну й виявляє будь-яку подвійну помилку. Розглянемо *спосіб Б* [20], який припускає, що використовуваний корегувальний код виправляє будь-яку одиничну й виявляє будь-яку потрійну помилку.

Показано [21, 22] для корегувальних кодів, що виправляють q_n — кратні помилки й виявляють помилки кратності $q_{об}$, що

$$(q_n + 1 \leq q_{об} \leq 2q_n + 1; q_n = 0, 1, 2 \dots).$$

Таким чином, розглянутий спосіб дає змогу в разі використання кодів, що виправляють q_n -кратні помилки й виявляють помилки кратності $q_{об}$ ($q_n + 1 \leq q_{об} \leq 2q_n + 1; q_n = 0, 1, 2 \dots$), не тільки виявляти $q_{об}$ -кратні помилки, а й виправляти їх.

Зниження інформаційної надмірності при способі *А* становить 50–100 % для $q_{n0} = 1$ і зменшується до нуля для більших q_{n0} , а при способі *Б* становить 50–100 % для $q_{n0} = 1$ і зменшується до 25 % для більших q_{n0} незалежно від кількості інформаційних розрядів.

Отримані залежності [22] показують, що при способі А збільшення кратності виправлених помилок не відбувається, а при способі Б відносне збільшення кратності виправлених помилок має місце при $q_{n0} \geq 3$ і наближається до 33 % для більших q_{n0} , що показує високу ефективність комбінації тимчасової й інформаційної надмірності в ЗП.

Удосконалення алгоритму роботи подібного ЗП [23], який би враховував вплив збоїв, дає змогу правильно виправити всі можливі помилки при збої та відмові кратності $n < 2$, а при $n \geq 2$ розпізнати всі ситуації, коли може бути проведена неправильна корекція, і в деяких випадках правильно виправити такі помилки [23]. Реалізуючи цей спосіб, можна виправити всі помилки, які викликані трикратною відмовою, двократною помилку, що викликана однією відмовою й збоєм, і виявити помилку будь-якої кратності, яка викликана відмовою [24].

Використання кода Хеммінга, який виправляє одну та виявляє дві помилки, що викликані відмовами елементів пам'яті, а також частину помилок високішої кратності, при практичній реалізації послідовного алгоритму декодування вимагає значних витрат часу для корекції багатократних помилок. Крім того, цей метод припускає використання лише М-кодів (тобто підмножину кодів Хеммінга, для яких контрольні розряди для прямого та зворотного кодів слова є однакові), а таке застосування не завжди доцільне.

Удосконалення способу [25] дало змогу при використанні кода з корегувальною здатністю s виправляти помилки кратністю до $2s + 1$ і виявляти відмови довільної кратності. Такі високі властивості методу з виявлення та корекції забезпечуються порівнянно простими засобами, і його реалізація сприяє підвищенню надійності ЗП і збільшенню відсотка виходу придатних до практичного застосування мікросхем пам'яті.

Подальший розвиток комбінації корегувальних кодів і часової надмірності привів до розробки способу використання КК і подвійного інвертування. Це [26] дає змогу значно підвищити корегувальні властивості способу при дії в ЗП збоїв і відмов і є засобом ефективного підвищення його надійності.

Зазначимо, що можна використовувати коди зі змінною СКК не по всьому накопичувачу, а по сторінках (аркушах) пам'яті. Це забезпечує високішу ступінь адаптації ЗП до несправностей запам'ятовуючих елементів накопичувача й дає можливість збільшити ефективну ємність усього ЗП за неістотного збільшення обсягу апаратури.

Класифікацію розглянутих способів ілюструє рис. 10.

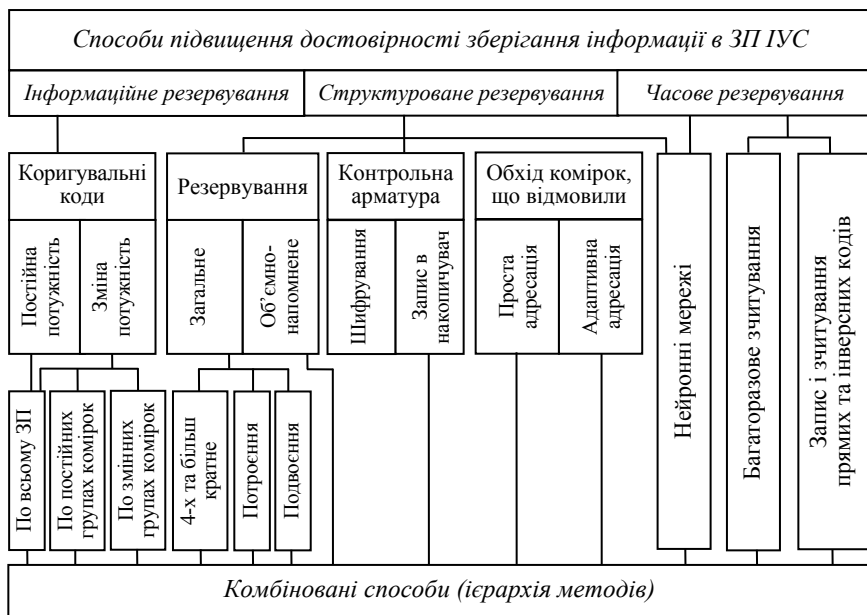


Рис. 10. Класифікація способів підвищення надійності зберігання інформації

Апаратурна надмірність може бути введена шляхом використання резервування ЗП, контрольної апаратури, обходу комірок, що відмовили коригувальних кодів. Резервування ЗП може бути повним (багаторазове, потрійне, подвійне) і об'ємно-неповним (резервування за методом Аммосова, за допомогою ПЗП, АдН, АсН). Коригувальні коди можуть бути як постійної МКК, СКК, так і змінної МКК і СКК. Обхід комірок, що відмовили, може бути реалізований як простий, так і з адаптивною переадресацією. Метод контрольної апаратури використовується для підвищення надійності АК (іноді РК) і пов'язаний із застосуванням шифратора, СРК та інших вузлів.

Тимчасова надмірність може бути представлена багаторазовим зчитуванням інформації з накопичувача з наступною оцінкою за більшістю збігів або як запис-зчитування прямих та інверсних кодів. Останній спосіб може бути застосований у комбінації

з кодом, що дозволяє виявити помилку, наприклад, з контролем по парності, з дублюванням і т.д.

До найбільш швидкодіючих методів належить резервування. Метод з використанням коригувальних кодів вимагає часу для кодування. Метод з обходом комірок, що відмовили, зазвичай використовує від одного до двох звертань до АдН. Найменшу швидкодію мають ЗП з використанням багаторазового зчитування.

Більш точна порівняльна оцінка апаратурних і тимчасових витрат залежить від конкретної елементної реалізації ЗП, об'єму накопичувача, необхідного рівня надійності тощо.

Для порівняння між собою деяких наведених вище способів підвищення надійності їх короткі характеристики подано в табл. 2.

Способи, що здійснюють корекцію помилок у РК, позначені у відповідних стовпчиках знаком «+». При цьому відрізняються помилки по збоях і відмовах, а також можливість «+» або неможливість «-» виявлення (В) і виправлення (П). Аналогічно для АК. Знак «(+)» означає, що цей спосіб придатний не для всіх відповідних ланцюгів, а тільки для частини. Наприклад, спосіб 11 дає змогу виявити й виправляти тільки відмови АШ, а спосіб 7 — виявити збої й відмови в АК, крім РгА.

У стовпчику «Коефіцієнт апаратурної надмірності» зазначені значення коефіцієнта I для відповідних способів, де ε_r — відносні апаратурні витрати в умовних одиницях для допоміжної апаратури, що додатково вводиться, складність якої не залежить від ємності накопичувача ($r = 1, 2, \dots, 20$). Наприклад, ε_{17} — це відносні апаратурні витрати порозрядного межоритарного органа. Ясно, що $\varepsilon_r \ll 1$. Звичайно, $\varepsilon_r \approx 10^{-2}$; v_j — відносна ємність додаткового накопичувача порівняно з основним АдН; $j = 1, 2, \dots, 7$, $v_j < 1$; γ_1 , γ_2 — відносна ємність відповідно АдН і АсН порівняно з ємністю всього ЗП, тобто $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$.

У стовпчику «Коефіцієнт тимчасової надмірності» наведені значення коефіцієнта T , де δ_p — відносне збільшення циклу ЗП, зумовлене часом перемикавання допоміжного устаткування, складність якого не залежить від ємності накопичувача $p = 1, 2, \dots, 15$ (наприклад, δ_2 — відносне збільшення циклу ЗП, зумовлене затримкою в ланцюгах БК і БД); ω_1 — імовірність звертання до комірок АдН, що відмовили; ω_2 — імовірність наявності збою в перших двох зчитуваннях; ω_3 — імовірність виконання операції читання.

Слід зазначити, що в способах 2, 3, 4, 23, 24 необхідно передбачити час на перезапис і перекодування, необхідний при зміні величини ПКК у режимі ПТ. Та, оскільки цей час не входить у час звертання до ЗП, то він у таблиці не враховується.

Таблиця 2

**ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАВЕДЕНИХ
СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ**

№ способу	Коригування помилок								Коефіцієнт надмірності	
	РК				АК				апаратурної <i>I</i>	тимчасової <i>T</i>
	збої		відмови		збої		відмови			
	В	П	В	П	В	П	В	П		
1	+	+	+	+					$\varepsilon_1 + R$	δ_1
2	+	+	+	+					$\varepsilon_2 + R$	δ_2
3	+	+	+	+					$\varepsilon_2 + R + v_1\mu_1$	δ_2
4	+	+	+	+					$\varepsilon_2 + R + v_2\mu_2$	δ_2
5					(+)		(+)		ε_3	0
6					(+)	(+)	(+)	(+)	ε_4	δ_1
7					(+)		(+)		ε_5	0
8					+		+		$\varepsilon_6 + R$	0
9	+	+	+	+			+		$\varepsilon_7 + R$	δ_3
10					+	+	+	+	ε_8	δ_4
11							(+)	(+)	ε_9	δ_5
12	+	+	+	+					$\varepsilon_{10} + R + 1$	δ_6
13	+		+	+					$\varepsilon_{11} + v_3\mu_1$	δ_7
14	+		+	+			+	+	$\varepsilon_{12} + v_4\mu_1$	δ_8
15			+	+			+	+	$\varepsilon_{13} + 0,5$	δ_9
16			+	+			+	+	$\varepsilon_{12} + v_5\mu_2$	δ_{10}
17			+	+			+	+	$\varepsilon_{11} + \gamma_2\mu_2 + \gamma_1$	δ_{11}
18			+	+			+	+	ε_{14}	$\delta_{12}\omega_1$
19			+	+			+	+	$\varepsilon_{15} + v_6\mu_2$	ω_1
20			+	+			+	+	$\varepsilon_{16} + 0,5v_6\mu_2$	δ_{13}
21	+	+			+	+			ε_{17}	$1 + \omega_2$
22			+	+					ε_{18}	$3\omega_1\omega_3$
23	+	+	+	+			+	+	$\varepsilon_{19} + R + v_5\mu_2$	δ_{14}
24	+	+	+	+			+	+	$\varepsilon_{19} + R + v_7\mu_2$	δ_{15}
25	+		+	+	+		+		$\varepsilon_{20} + 1$	$3\omega_1\omega_3$

ПЕРСПЕКТИВИ. Розглядаючи майбутнє застосування структурно-логічних способів і засобів підвищення надійності зберігання інформації в запам'ятовуючих пристроях інформаційних управляючих систем, необхідно дещо зауважити.

Постійно триває розвиток МПН ЗП, який зумовлений появою нових технологічних принципів запису та зберігання інформації, нового елементного базису для побудови ЗЕ, ЗП та інших компонент інформаційних управляючих систем зберігання інформації, особливо для спеціальних умов застосування та спецпризначення [27, 28].

Перспективним напрямом у майбутньому є застосування нейронних мереж, наприклад, мереж Д. Хопфілда, який у 1982 році запропонував стійку біполярну рекурентну нейронну мережу [29] (рис. 11), яка оперує тільки величинами $\{-1, 1\}$. Мережа має один шар ваг w_{ji} , що настроюються.

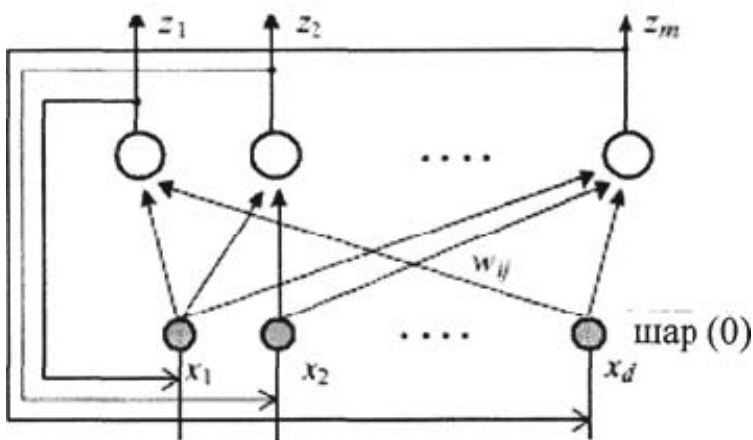


Рис. 11. Мережа Хопфілда

Усі нейрони єдиного шару повертають свої виходи на свій вхід і входи решти нейронів мережі за допомогою розподільників (не нейронів) шару (0).

Кожний нейрон реалізує такі кроки:

а) обчислює в зважену суму a своїх входів:

$$a_j = \sum_{i \neq j}^M (w_{ji} z_i) + x_j ;$$

б) до суми застосовується нелінійна порогова функція $g(a)$:

$$z_j = g(a) = \left\{ \begin{array}{l} 1, a_j > T_j \\ -1, a_j \leq T_j \\ \text{не змінюється, } a_j = T_j \end{array} \right\}, T_j — \text{порог нейрона.}$$

Вхідні сигнали мережі Хопфілда подаються один раз на початку роботи, а потім мережа працює за рахунок повернених виходів. Стан усіх нейронів мережі змінюється одночасно. Наприкінці роботи мережа стабілізується у стійкому стані. Ураховуючи те, що мережа Хопфілда працює з біполярними числами, то стан її виходів завжди можна описати бінарним числом $z_j = \{-1, 1\}$.

Проста геометрична інтерпретація представляє кожний стан мережі як вершину куба в просторі. Для n виходів відповідно існує 2^n станів та n -мірний гіперкуб. Коли подається новий вхідний вектор, мережа починає переходити з вершини до вершини, поки не стабілізується в якійсь вершині.

Стійка вершина z для цього входу x задається матрицею налагоджуваних ваг w_{ij} і порогами T_j . Якщо вхідний вектор x частково зазнає спотворення, то мережа Хопфілда приходить саме в стан z , тобто можна говорити, що мережа Хопфілда має здатність відновлення запам'ятовуваного стану на основі неповної інформації.

Звичайна пам'ять комп'ютера є адресною, тобто вона працює за принципом: спочатку задається адреса, а пристрій зберігання інформації повертає інформацію, яка є за цією адресою. Якщо сформована неправильна адреса, то будуть отримані зовсім довільні дані, які будуть помилково інтерпретовані як потрібні. Людська пам'ять є асоціативною, тобто задаючи деяку частину інформації (наприклад, прізвище людини), отримуємо решту (зовнішність, емоції, спогади тощо). Вочевидь, асоціативна пам'ять має дуже складну внутрішню структуру залежностей і зв'язків образів. Було показано [30], що мережі Хопфілда можуть формувати спрощену модель асоціативної пам'яті. Це відкриває нові шляхи розвитку МПН-пам'яті, яка буде організовуватися на основі елементного базису перспективних нейронних чіпів не тільки для мереж Хопфілда, а й для нейронних мереж Хеммінга [29, 30]. Історія досліджень у галузі нейронних мереж ще доволі коротка, можливо, у міру того, як людство буде більше пізнавати будову головного мозку, на основі нейротехнологій будуть з'являтися нові, ще незвичайніші способи пізнання світу.

Триває подальший розвиток структурного резервування ЗП. Серед структурних способів резервування вдосконалюється у спосіб об'ємно-повного резервування, яке може бути просторовим. Прикладом такого методу є широке застосовуване зберігання інформації в хмарі. Зрозуміло, що може бути й об'ємно-неповне просторове резервування у комбінації з іншими способами, наприклад, ЗП, які побудовані з реалізацією різних варіантів RAID-технологій. Цей напрям ще не вичерпав свого потенціалу.

Важливим МПН ЗП є оптимізація не тільки структури ЗП [4] і структури ЗП з надмірністю, а й оптимізація структур ЗП, що самі являють собою вбудовану ієрархію структур ЗП з надмірністю. Це відкриває нові перспективи при побудові надійної пам'яті.

Таким чином, існуючі та майбутні шляхи розвитку МПН ЗП є важливою реальною складовою побудови надійних інформаційно-управляючих систем.

Література

1. Тарасенко В. П., Маламан А. Ю., Черніченко Ю. П., Корнійчук В. І. Надійність комп'ютерних систем. — К.: «Корнійчук», 2007. — 256 с.
2. Городний А. В. Корнейчук В. И. Проблемы высоконадёжной памяти // «Автоматика и телемеханика». — 1974. — № 7. — С. 156–172.
3. Самофалов К. Г., Корнейчук В. И., Городний А. В. Структурно-логические методы повышения надёжности запоминающих устройств. — М., 1976. — 112 с.
4. Корнейчук В. И. Запоминающие устройства ЦВМ. — К.: Техніка, 1976. — 168 с.
5. Теория кодирования / Т. Касами, Н. Токура, Е. Ивадари, Я. Инагаки. — М.: Мир, 1978. — 575 с.
6. Руднев Ю. П. Авт. свід. СРСР № 251935.
7. Городний А. В., Корнейчук В. И., Сосновчик Е. Н. Авт. свід. СРСР № 338919.
8. Корнейчук В. И., Городний А. В., Сосновчик Е. Н. Авт. свід. СРСР № 377873.
9. Nanan M., Palermo F., Raver N., Schay G. Патент США № 3311888.
10. Фиников В. А., Шендерович Ю. А. Авт. свід. СРСР № 222015.
11. Путинцев Н. Д. Аппаратный контроль управляющих ЦВМ, «Советское радио», 1966.
12. McKeever B. Патент США № 3427599.
13. MILITARY HAND BOOK — 217F.
14. Duda W. Патент США № 3501748.

15. Аммосов В.И. Авт. свид. СРСР № 222015.
16. Winkler T. Патент США № 3544777.
17. Корнейчук В. И., Городний А. В., Небукин А. И. Авт. свид. СРСР № 385319.
18. Городний О. В., Галузинський Г. П. RAID1 — пам'ять підвищеної надійності з часовою надмірністю. «Проблеми інформатизації та управління»: Зб. наук. праць: Вип. 1 (49). — К.: НАУ, 2015. — С. 20–24.
19. Долгов А. И. Авт. свид. СРСР № 333805.
20. Самофалов К. Г., Корнейчук В. И., Городний А. В., Небукин А. И. Авт. свид. СРСР № 436388.
21. Варшамов Р. Р. Оценка числа сигналов в кодах с коррекцией ошибок «Доклады АН СССР». — Т. 117. — № 5. — 1957.
22. Городний А. В., Корнейчук В. И. Об эффективности использования корректирующих кодов для запоминающих устройств с временной избыточностью. — Міжнар.науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». — 2015. — № 1. — С. 133–137.
23. Андреева Т. Н., Городний А. В., Корнейчук В. И., Лазинцев И. М., Орлова М. Н., Палкин М. И., Рудченко Н. Ф., Рычагов Ю. Б. Авт. свид. СРСР № 842976.
24. Корнейчук В. И., Орлова М. Н., Забуранный А. Г. Об одном способе повышения надежности ЗУ. — «Управляющие системы и машины». — 1984. — № 6. — С. 21–24.
25. Дичка И. А., Корнейчук В. И., Орлова М. Н. Способ исправления ошибок, вызванных отказами элементов памяти ЗУ // Автоматика и телемеханика. — 1985. — № 4. — С. 101–109.
26. Дичка И. А., Забуранный А. Г., Корнейчук В. И. Использование корректирующих кодов и двойного инвертирования для повышения надежности ЗУ // Известия вузов. Приборостроение. — 1986. — № 1. — С. 35–38.
27. Харченко В. С., Юрченко Ю. Б. Анализ структур отказоустойчивых бортовых комплексов при использовании электронных компонентов INDUSTRY // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2003. — № 2. — С. 3–10.
28. Федухин А. В., Муха А. А., Муха А. А. ПЛИС-системы как средство повышения отказоустойчивости // Математичні машини і системи. — 2010. — № 1. — С. 198–204.
29. Аксенов С. В., Новосельцев В. Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / Под общ. ред. В. Б. Новосельцева. — Томск: Изд-во НТЛ, 2006. — 128 с.
30. Горбань А. Н., Дунин-Барковский В. Л., Кирдин А. Н. Нейроинформатика. — Новосибирск: Наука, 1998. — 296 с.

МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ І ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ ДОСТОВІРНОСТІ

Науково-технічна революція, яка почалася у XX столітті й триває нині, значно підвищила роль метрології як науки про отримання інформації для систем контролю й управління. Зроблено дуже великий крок на шляху підвищення основної характеристики контролю, а саме його достовірності.

Основними інформаційними процесами в системах управління є контроль, вимірювання та підрахунок.

Процедура підрахунку певних параметрів виробничих процесів є найпростішою і переважно не потребує використання спеціальної апаратури, що дає змогу здійснювати перетворення фізико-хімічних параметрів у кількісні показники. До таких параметрів можна віднести більшість техніко-економічних показників, які визначаються кількістю випущеної продукції, витратами пального, вартістю напівфабрикатів та ін.

Дещо складнішими, з погляду апаратного та інформаційного забезпечення, є процедури контролю та вимірювання, які передбачають необхідність перетворення в кількісні або якісні показники таких параметрів, як температура, тиск вологість та ін. Кількісне або якісне представлення фізико-хімічних і фізико-механічних параметрів потребує розуміння різниці між процедурами контролю та вимірювання.

Контролем вважають процедуру встановлення відповідності між станом об'єкта й заздалегідь заданою нормою. Стан об'єкта визначається шляхом сприйняття та подальшого перетворення інформативних сигналів, які функціонально зв'язані з контрольованим параметром. Результатом контролю є якісна характеристика — висновок про знаходження об'єкта в нормі чи поза нею.

Разом з контролем найважливішою процедурою є вимірювання параметрів досліджуваного об'єкту. Вимірюванням зазвичай називають процедуру визначення дійсного значення досліджуваного параметра. Результатом вимірювання є кількісна характеристика — значення відповідності вимірюваного параметра визначеній мірі з певною часткою вірогідності.

Порівняння наведених визначень свідчить про те, що між операціями вимірювання та контролю є багато спільного. В обох випадках метою є отримання інформації, а досягнення мети здій-

снюється порівнянням двох величин: при вимірюванні — величини, що вимірюється з мірою, а при контролі — величини, що вимірюється з нормою.

У спрощеному вигляді структурну схему засобу контролю показано на рис. 1.

Фактичне значення параметра, що характеризує стан об'єкта контролю, сприймається датчиком Д і порівнюється блоком зіставлення БС з уставкою (нормою), яка задається блоком формування уставки БФУ. За результатом зіставлення контрольованого параметра й уставки (норми) блоком формування суджень БФС визначається стан об'єкта (нормальний, аварійний або ін.), і результати контролю видаються вихідним блоком результату контролю БВРК у формі, зручній для сприйняття та використання при керуванні.

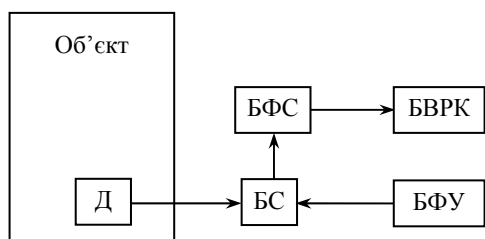


Рис. 1. Структурна схема засобу контролю

Особливим видом контролю є сигналізація, яку, залежно від характеру інформації, розділяють на технологічну й виробничу.

Технологічна сигналізація інформує про граничні параметри технологічного процесу. Подача сигналу може здійснюватись, наприклад, при неприпустимому підвищенні температури, рівня, при готовності виконати операцію та ін.

Виробнича сигналізація характеризує роботу окремих апаратів і механізмів, що беруть участь у виробничому процесі. Так, сигнал може надходити при подачі напруги на схему керування, включенні приводу апарата, відкритті вентилів та ін.

Розглянемо основні компоненти наведеної вище структурної схеми.

Елементом, що сприймає інформацію про параметри об'єкта контролю, є датчик. Датчик, він же сенсор, він же первинний перетворювач — це той елемент, що сприймає досліджуваний параметр і перетворює його в доступний для подальшого перетворення інформаційний сигнал. Зазвичай датчик є конструктивно

відособленим елементом вимірювального кола. Він може бути винесений на значну відстань від засобу вимірювання, що приймає його сигнал. Наприклад, датчики запущеного метеорологічного зонда передають інформаційні сигнали про температуру, тиск, вологість та інші параметри атмосфери.

Датчики, що здійснюють сприйняття контрольованих параметрів і перетворення вхідних сигналів можуть бути з уніфікованими та неуніфікованими вихідними сигналами. Для подальшого перетворення сигналів з датчиків, що мають неуніфіковані вихідні сигнали, використовують вторинні вимірювальні перетворювачі.

Вимірювальний перетворювач — це технічний засіб з нормативними метрологічними характеристиками, що слугує перетворенню вимірюваної величини в іншу величину або вимірювальний сигнал, зручний для обробки, зберігання, подальших перетворень або індикації.

Усі методи вимірювання (первинного перетворення) неелектричних величин можна поділити на контактні й безконтактні.

При використанні контактних методів первинний перетворювач перебуває у безпосередньому контакті з досліджуваним об'єктом. Контактні методи порівняно прості в реалізації та забезпечують високу чутливість. Водночас при використанні контактних методів має місце зворотний вплив первинного перетворювача на параметри досліджуваного об'єкта, що може призвести до значного спотворення результату вимірювань. Крім того, у деяких випадках неможливо здійснити безпосередній контакт первинного перетворювача з досліджуваним об'єктом унаслідок, наприклад, несприятливих умов (вологість, запиленість, вібрації, небезпека механічного руйнування, хімічна й радіаційна агресивність, велика віддаленість об'єкта та ін.).

При використанні безконтактних методів вимірювання первинний перетворювач не перебуває в безпосередньому контакті з досліджуваним об'єктом і не спотворює його параметрів. Але на результат вимірювань значною мірою впливає довкілля, що відокремлює досліджуваний об'єкт від первинного перетворювача.

При конструюванні сенсорів особливе значення надають таким показникам:

- мініатюрність (можливість вбудовування);
- дешевизна (серійне виробництво);
- механічна міцність, надійність.

Нині сформувався новий науково-технічний напрям мікроелектронного приладобудування, пов'язаний з використанням мікроелектронних технологій для створення сенсорів. Останнім

часом поряд зі створенням датчиків, що мають цифровий вихідний сигнал, спостерігається тенденція до конструктивного об'єднання датчиків з мікропроцесорними пристроями.

Первинні перетворювачі поділяють на генераторні та параметричні.

У генераторних перетворювачах вхідна величина перетворюється на інформаційний сигнал, що має енергетичні властивості. Прикладами генераторних перетворювачів можуть бути термоелектричний перетворювач (термопара), п'єзоелектричний перетворювач, фотоелектричний перетворювач та ін., що здійснюють перетворення відповідно температури, тиску та освітлення у вихідний енергетичний сигнал у вигляді електрорушійної сили (різниці електричних потенціалів).

У параметричних перетворювачах вхідна величина, що впливає на певний параметр перетворювача, приводить до зміни цього параметра (опору, ємності, індуктивності). Особливістю роботи параметричних перетворювачів є потреба в додатковому джерелі енергії для отримання або подальшого перетворення вимірювальної інформації.

До найпоширеніших генераторних первинних перетворювачів належать:

- п'єзоелектричні;
- електродинамічні;
- термоелектричні;
- фотоелектричні;
- гальваномагнітні (елементи Холу).

Прикладами параметричних первинних перетворювачів можуть бути:

- реостатні;
- тензорезистивні;
- терморезистивні;
- напівпровідникові хімічні сенсори;
- оптичні сенсори (фоторезистори, фототранзистори, оптичні помножувачі);
- волоконно-оптичні сенсори та ін.

Варто зазначити, що один і той самий первинний перетворювач залежно від схеми включення може бути як генераторним (наприклад, фотодіод у режимі вимірювання струму), так і параметричним (фотодіод у режимі вимірювання опору).

За фізичними закономірностями, покладеними в основу принципу дії, перетворювачі неелектричних величин в електричні поділяють на групи. Назвемо їх.

Резистивні перетворювачі механічних величин. Принцип дії таких перетворювачів заснований на зміні електричного опору перетворювача під дією вхідної механічної величини. До цієї групи належать реостатні перетворювачі переміщень і тензорезистивні перетворювачі.

Електростатичні перетворювачі. До них належать перетворювачі, переносником вимірювальної інформації в яких є електричний заряд. Розрізняють два основні різновиди електростатичних перетворювачів: *ємнісні*, принцип дії яких заснований на взаємодії двох заряджених тіл, і *п'єзоелектричні*, виникнення електричних зарядів у яких є результатом дії механічної напруги в чутливому елементі перетворювача.

Електромагнітні перетворювачі. Під цією назвою об'єднана велика група перетворювачів, принцип дії яких заснований на використанні електромагнітних явищ. При цьому, залежно від способу використання цих явищ, електромагнітні перетворювачі поділяють на *індуктивні* та *взаємноіндуктивні*. Вихідним інформативним параметром індуктивних перетворювачів є індуктивність або повний електричний опір обмотки, розташованої на феромагнітному осерді. Магнітні параметри осердя при цьому є функцією вимірюваної неелектричної величини, наприклад розміру повітряного зазору. Вихідним інформативним параметром взаємноіндуктивних перетворювачів є електрорушійна сила, наведена у вторинній обмотці. Її величина також залежить від магнітних параметрів магнітопроводу. Прикладом взаємоіндуктивних перетворювачів є трансформаторні перетворювачі, які широко використовуються для вимірювання переміщень. До електромагнітної також відносять індукційні перетворювачі, принцип роботи яких заснований на використанні явища електромагнітних індукцій.

Теплові перетворювачі. В основу роботи таких перетворювачів покладені фізичні закономірності, що визначаються впливом температури на електрофізичні властивості матеріалів. Найбільшого поширення набули *термоелектричні* та *терморезистивні* перетворювачі.

Електрохімічні перетворювачі. Принцип їх дії ґрунтується на залежності електричних параметрів електролітичного вічка від складу, концентрації та інших властивостей досліджуваного розчину. Вхідними сигналами електрохімічних перетворювачів можуть бути різні фізичні величини: якісний і кількісний склад складних рідких і газоподібних середовищ, тиск, швидкість, прискорення тощо.

Оптико-електричні перетворювачі. В основу принципу дії оптичних перетворювачів покладено перетворення потоку оптичного (світлового й теплового) випромінювання. Перетворення вимірювальної інформації здійснюється тут зазвичай шляхом модуляції параметрів джерела випромінювання або оптичного каналу.

Іонізаційні перетворювачі. Принцип дії їх заснований на перетворенні інтенсивності іонізуючого випромінювання.

Незалежно від принципу дії та фізичних законів, що лежать в основі їх роботи, первинні перетворювачі зазвичай оцінюють за допомогою певних характеристик.

Градувальна характеристика (передавальна функція, статична характеристика) — функція, що встановлює взаємозв'язок між вихідним сигналом первинного перетворювача та вхідним впливом.

Діапазон вимірюваних значень — динамічний діапазон зовнішніх дій, який первинний перетворювач може сприйняти. Ця величина показує максимально можливе значення вхідного сигналу, яке датчик може перетворити у вихідний сигнал, не виходячи за межі допустимих похибок.

Для сенсорів з дуже широкою та нелінійною амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) динамічний діапазон зовнішніх дій часто представляється децибелами, які є логарифмічною мірою співвідношення потужності, напруги або струму.

Діапазон вихідних значень — алгебраїчна різниця між електричними вихідними сигналами, виміряними за максимальною та мінімальною зовнішньою дією. У цю величину входять усі можливі відхилення від ідеальної передавальної функції.

Точність — дуже важлива характеристика будь-якого сенсора. Але, коли говорять про точність датчика, найчастіше мають на увазі його *неточність* або *похибку вимірів*. Під похибкою вимірів зазвичай розуміють величину максимальної розбіжності між показниками реального та ідеального перетворювачів інформації. Слід пам'ятати, що точність є лише якісним показником отриманої інформації. Тому в технічних застосуваннях частіше використовують похибку вимірювань, яка є кількісним показником. Вважається, що виміряне значення відповідає реальному з певною мірою достовірності.

На точність (похибку) перетворення впливають такі характеристики, як: гістерезис, мертва зона, параметри калібрування, повторюваність датчиків від партії до партії та відтворюваність похибок.

Градування. Якщо виробничі допуски на параметри датчика й допуски на схеми перетворення сигналів перевищують необхідні параметри системи, завжди необхідно проводити градування. При градуванні визначаються коефіцієнти, що описують передавальну функцію усієї системи загалом, зокрема й датчик і весь перетворювальний канал.

Нелінійність визначається для датчиків, передавальну функцію яких можна апроксимувати прямою лінією. Під нелінійністю розуміють максимальне відхилення реальної передавальної функції від апроксимуючої прямої лінії.

Насичення. Кожен первинний перетворювач має свої межі робочих характеристик. Навіть якщо він вважається лінійним, за певного рівня зовнішньої дії його вихідний сигнал перестає відповідати приведеній лінійній залежності. У цьому разі говорять, що сенсор увійшов до зони нелінійності або до зони насичення.

Відтворюваність — це здатність датчика при дотриманні однакових умов видавати ідентичні результати. Відтворюваність результатів визначається за максимальною різницею вихідних значень датчика, отриманих у кількох циклах градування. Причинами поганої відтворюваності результатів часто є тепловий шум, поверхневі заряди, пластичність матеріалів тощо.

Роздільна здатність характеризує мінімальну зміну вимірюваної величини, яку може відчувати датчик.

Вихідний імпеданс є характеристикою, що вказує, наскільки легко датчик узгоджується з електронною схемою.

Динамічні характеристики. У стаціонарних умовах датчик повністю характеризується своєю передавальною функцією, діапазоном вимірюваних значень і градувальними коефіцієнтами. Проте на практиці вихідний сигнал датчика не завжди забезпечує миттєве відстеження зміни вхідного сигналу. Причини цього полягають як у самому датчику, так і в його з'єднанні з джерелом зовнішніх дій, що не дає змогу сигналам поширюватися з нескінченно великою швидкістю.

Інерційність перетворювача виявляється в тому, що його вихідний сигнал не встигає реагувати на зміни вимірюваної величини, унаслідок чого можуть виникнути істотні динамічні похибки аж до того, що результати виміру стають абсолютно неприйнятними. Таким чином, при виборі відповідних перетворювачів необхідно завжди виходити з умови забезпечення узгодження їх динамічних характеристик з динамікою об'єкта.

На вхід перетворювача зазвичай діють кілька фізичних величин, на одну з них він реагує найбільш вибірково. Таку вхідну

величину називають *інформативною*. Інші вхідні величини також можуть впливати на вихідну величину, але в основному вони призводять до збільшення похибки вимірювань. Такі вхідні величини називають *неінформативними* впливаючими факторами, або *перешкодами*.

Точність автоматичного регулювання параметрів технологічних процесів значною мірою визначається достовірністю контролю цих параметрів. При технологічному контролі оцінюється відповідність поточних значень параметрів технологічного процесу заданому регламенту, який встановлює допустимі відхилення регульованих параметрів від їх номінальних значень. У процесі перетворення технологічних параметрів в електричні сигнали, зручні для порівняння з заданими значеннями, неминуче виникають похибки, які за характером виникнення є систематичними й випадковими.

Виходячи з нормативних документів і цільового призначення технологічного процесу, задається допустиме відхилення параметра у вигляді граничних значень

$$X_H < X < X_B, \quad (1)$$

де X — поточне значення параметра; X_H — нижнє значення параметра; X_B — верхнє значення параметра.

Через похибки виміру параметрів у формуванні регулюючих дій на хід технологічного процесу виникають помилки першого й другого роду. При помилках першого роду формується помилкова регулююча дія, коли поточне значення параметра задовольняє нерівності (1). Помилки другого роду призводять до того, що регулююча дія відсутня при виході параметра за межі допуску. Вірогідність формування помилкових регулюючих дій записується як:

$$P_{ош} = P_x - P_n, \quad (2)$$

де P_x — вірогідність того, що параметр вийшов за межі допуску й формується помилкова регулююча дія; P_n — вірогідність того, що параметр вийшов за межі допуску, а регулююча дія відсутня.

Достовірність технологічного контролю оцінюється виразом [1]:

$$D = 1 - P_{ош} = 1 - P_x - P_n. \quad (3)$$

Значною мірою достовірність технологічного контролю знижує прогресуюча складова систематичної похибки, яка має дрейфовий характер і не може бути виключена попереднім калібруванням вимірювального каналу 1 системи автоматичного

регулювання (рис. 2, а). Вимірювальні перетворювачі 2, 3, 4 і 5, які утворюють канал, схильні як до зовнішніх, так і до внутрішніх дестабілізуючих впливів. Так, зміна температури, вологості, тиску доквілля неминуче впливає на номінальні параметри вимірювальних перетворювачів, особливо первинних — сенсорів. Унаслідок цього вихідний сигнал вимірювального каналу набуває значення [2]:

$$y = S(1 + \gamma)(x + \Delta x), \quad (4)$$

де S — номінальна крутість перетворення каналу; γ — сумарна відносна мультиплікативна похибка перетворення; Δx — сумарна абсолютна адитивна похибка, приведена до входу вимірювального каналу.

У результаті порівняння вихідного сигналу вимірювального каналу y з уставкою y_0 у схемі порівняння 6 виникає похибка в формуванні регулюючої дії Z на регулятор 9. При цьому випадкові похибки в каналі 1, що швидко змінюються та носять флуктуаційний характер, значною мірою придушуються фільтром 8 нижніх частот. Прогресуючі похибки, що змінюються повільно, не усереднюються і збільшують помилки першого та другого роду на межах допусків регулювання.

Зменшити вплив зовнішніх чинників на перетворювальну характеристику вимірювального каналу 1 можна переходом на двоканальну схему (рис. 2б), в якому уставка задається зразковою фізичною величиною x_0 (нормою), однорідною з контрольованим параметром x . Оскільки зовнішні впливи однаковою мірою змінюють параметри перетворювальних ланок в обох каналах, їх вплив на результат порівняння в схемі 2б виключається. Проте виконати двоканальну схему на повністю ідентичних елементах (2 і 2'', 3 і 3'' і т.д.) практично неможливо через впливи внутрішніх дестабілізуючих чинників, випадкових за природою виникнення (процеси старіння та зношення, шуми, флуктуації коефіцієнтів перетворення, нестабільність джерел живлення та ін.).

Різницевий сигнал Δy на вході фільтра 8 є інформативною постійною складовою різниці напруг або струмів $x - x_0$ на тлі дрейфу нуля (адитивної похибки Δx) і тренда чутливості (мультиплікативної похибки γ):

$$\Delta y = S(1 \pm \gamma)(x - x_0 \pm \Delta x), \quad (5)$$

де γ і Δx — випадкові функції, які повільно змінюються.

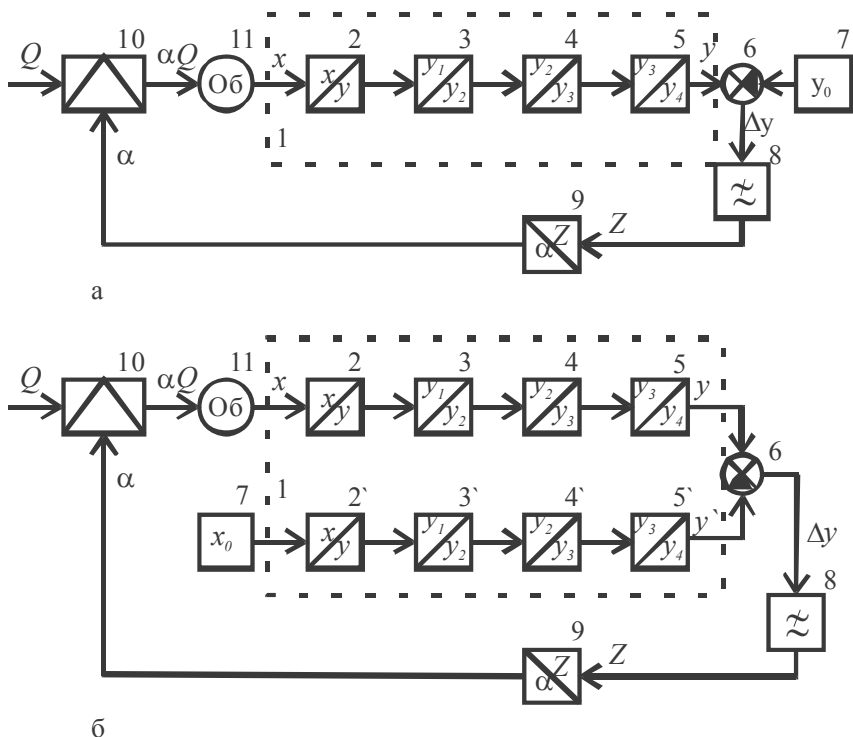


Рис. 2. Схема технологічного контролю з одночасним одноканальним (а) і двоканальним (б) порівнянням регульованого параметра з уставкою: 1 — вимірювальний канал; 2 — сенсор; 3 — масштабний перетворювач; 4 — функціональний перетворювач; 5 — нормуючий перетворювач; 6 — схема порівняння; 7 — задатчик уставки; 8 — фільтр нижніх частот; 9 — регулятор; 10 — виконавчий пристрій; 11 — об'єкт управління

Збільшенням постійною часу фільтра 8 нижніх частот недоцільно пригнічувати похибки γ і Δx , що повільно змінюються, оскільки при цьому погіршуються динамічні властивості системи автоматичного регулювання.

Перспективним шляхом відділення інформативної різниці $x - x_0$ від перешкод (γ і Δx), що повільно змінюються, є перетворення результату порівняння в періодичний сигнал відносно високої частоти методом періодичного порівняння x і x_0 [3]. У цьому разі навіть при малоінерційному фільтрі нижніх частот 6 можна достовірно виокремити інформативну різницю $x - x_0$ (рис. 3).

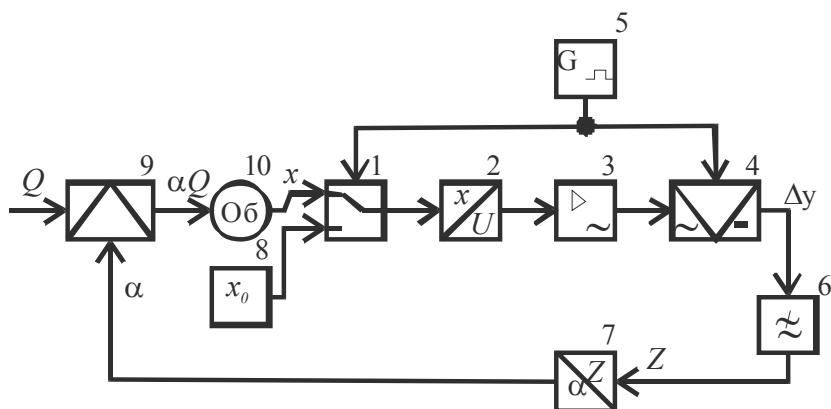


Рис. 3. Схема технологічного контролю з періодичним порівнянням регульованого параметра з нормою: 1 — автоматичний перемикач; 2 — сенсор; 3 — підсилювач змінної напруги; 4 — синхронний детектор; 5 — комутаційний генератор; 6 — фільтр нижніх частот; 7 — регулятор; 8 — задатчик норми; 9 — виконавський елемент; 10 — об'єкт регулювання

Контрольований технологічний параметр x і норма y у вигляді зразкового параметра x_0 за допомогою автоматичного перемикача 1 по черзі і періодично впливають на вхід сенсора 2. Вихідна напруга сенсора при дії контрольованого параметра x :

$$U'_2 = S_2(1 + \gamma_2)(x + \Delta x_2), \quad (6)$$

де S_2 — номінальна крутість перетворення параметра x в електричну напругу; γ_2 і Δx_2 — мультиплікативна та адитивна похибки сенсора.

При дії зразкової величини (норми) x_0 вихідна напруга сенсора:

$$U''_2 = S_2(1 + \gamma_2)(x_0 + \Delta x_2). \quad (7)$$

У результаті безперервної роботи автоматичного перемикача 1 на виході сенсора 2 утворюється часова послідовність з імпульсів напруг U'_2 і U''_2 . При нерівності порівнюваних величин у вихідній напрузі сенсора 2 з'являється змінна складова напруги частоти комутації:

$$U_2 = \frac{U'_2 - U''_2}{2} \sin 2\pi Ft, \quad (8)$$

де $\text{sign} \sin 2\pi Ft$ — напруга прямокутної форми частоти комутації F .

З урахуванням (6) и (7):

$$U_2 = \frac{S}{2}(1 + \gamma_2)(x - x_0)\text{sign} \sin 2\pi Ft. \quad (9)$$

Змінна напруга (9), яка не залежить від адитивної похибки Δx_2 сенсора, перетворюється масштабним перетворювачем 3, яким є бездрейфовий підсилювач змінної напруги. Підсилена напруга випрямляється синхронним детектором 4 і згладжується фільтром нижніх частот 6. Вихідна напруга схеми періодичного порівняння використовується як регулююча дія Z . З виразу (9) видно, що при рівності параметра норми $x = x_0$ регулююча дія дорівнює нулю ($Z = 0$) за будь-яких значень адитивної та мультиплікативної похибок. У разі виникнення відхилень у контрольованому параметрі ($x \neq x_0$) з'являються помилки першого та другого роду через наявність залишкової мультиплікативної складової похибки (9) вимірювального каналу, зокрема сенсора.

Для виділення інформативного різницевого сигналу $x - x_0$ з дрейфових складових напруги частоту комутації F обирають від кількох десятків до сотень Герц. Синхронне детектування змінної складової напруги з подальшим згладжуванням забезпечує високу перешкодозахисність каналу від низькочастотних шумів. При використанні інерційних сенсорів частоту комутації порівнюваних величин доводиться знижувати до одиниць і навіть менше герца. При цьому виникають труднощі у виділенні і посиленні різницевого сигналу такої низької частоти. У цих режимах доцільна цифрова обробка порівнюваних величин [4].

Подальше підвищення достовірності контролю в межах усього допуску за наявності як Δx , так і γ , можливо при автоматичному виключенні впливу не лише адитивної, а й мультиплікативної складової похибки. Одним зі шляхів є використання в каналі періодичного порівняння керованого масштабного підсилювача (рис. 4). При двох положеннях автоматичного перемикача 1 на виході підсилювача 3 формується часова послідовність імпульсів з підсиленої напруги:

$$U'_3 = S_2 K_3 (1 + \gamma_2) (x + \Delta x_2), \quad (10)$$

$$U''_3 = S_2 K_3 (1 + \gamma_2) (x_0 + \Delta x_2), \quad (11)$$

де S_2 — крутість перетворення сенсора 2; γ_2 і Δx_2 — похибки сенсора; K_3 — коефіцієнт підсилення керованого підсилювача 3.

З імпульсів (10) і (11) фільтром нижніх частот 4 виокремлюється постійна складова напруги:

$$U_4 = K_4 \frac{U_3 + U_4}{2} = \frac{1}{2} S_2 K_3 K_4 (1 + \gamma)(x + x_0 + 2\Delta x_2), \quad (12)$$

де K_4 — коефіцієнт передачі фільтра нижніх частот 4.

Напруга (12) порівнюється з опорною напругою U_0 джерела 5. Різниця напруг, підсилена диференціальним підсилювачем 6, заряджає інтегратор 7, вихідна напруга якого управляє коефіцієнтом підсилення підсилювача 3. Процес автоматичного регулювання коефіцієнта підсилення триває доти, поки не зрівняється порівнювана напруга (12) і U_0 :

$$U_0 = \frac{1}{2} S_2 K_3 K_4 (1 + \gamma)(x + x_0 + 2\Delta x_2). \quad (13)$$

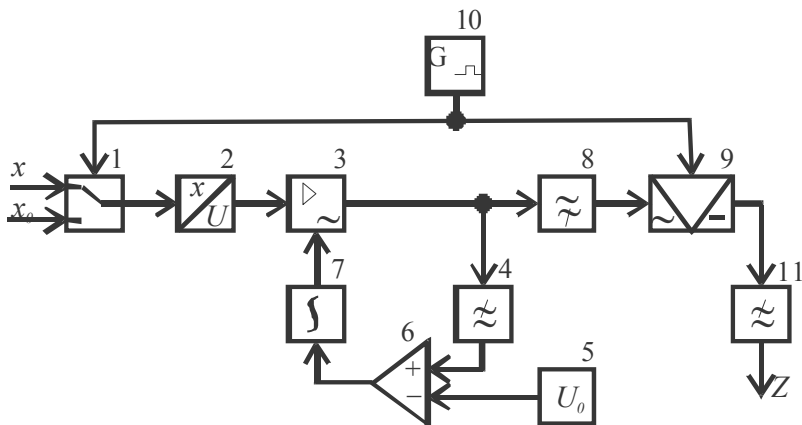


Рис. 4. Схема періодичного порівняння з керованим масштабним підсилювачем: 1 — автоматичний перемикач; 2 — сенсор; 3 — керований масштабний підсилювач; 4, 11 — фільтр нижніх частот; 5 — джерело опорної напруги; 6 — диференціальний підсилювач; 7 — інтегратор; 8 — фільтр верхніх частот; 9 — синхронний детектор; 10 — комутаційний генератор

З рівняння (13) виходить, що коефіцієнт підсилення K_3 автоматично набуде значення:

$$K_3 = \frac{2U_0}{S_2 K_4 (1 + \gamma_2)(x + x_0 + 2\Delta x_2)}. \quad (14)$$

Фільтром 8 з послідовності імпульсів (10) і (11) виокремлюється змінна складова напруги:

$$U_8 = K_8 \frac{U_3' - U_3''}{2} = \frac{1}{2} S_2 K_3 K_8 (1 + \gamma_2) (x - x_0), \quad (15)$$

де K_8 — коефіцієнт передачі фільтра верхніх частот 8.

Змінна напруга (15) випрямляється синхронним детектором 9 і згладжується фільтром нижніх частот 11. Підставляючи у вираз (15) значення коефіцієнта підсилення (14), отримуємо:

$$U_{11} = \frac{K_3 K_8 K_{11} (x - x_0) U_0}{K_4 (x + x_0 + 2\Delta x_2)}. \quad (16)$$

Якщо фільтри 4 і 8 виконати з однаковими коефіцієнтами передачі, а при малих різницях $x - x_0$ можна вважати, що $x + x_0 + 2\Delta x_2 \cong 2x_0$, отримаємо напругу:

$$U_{11} = \frac{K_9 K_{11} U_0}{2x_0} (x - x_0). \quad (17)$$

З виразу (17) виходить, що регулююча дія $\Delta u = U_{11}$ не залежить ні від адитивної, ні від мультиплікативної складових похибки вимірювального каналу. Завдяки цьому забезпечується висока достовірність контролю в інформаційних керуючих системах [5].

Керуючу дію на регулятор можна сформувати й функціональним нелінійним перетворенням послідовності імпульсів, що виникають на виході сенсора в процесі періодичного перетворення (рис. 5).

Підсилені імпульси (10) і (11) з виходу широкосмугового підсилювача 3 по черзі надходять на вхід логарифматора 4. При одному положенні автоматичного перемикача 1 на виході логарифматора 4 формуються імпульси з амплітудою

$$U_4' = S_4 \ln S_2 K_3 (1 + \gamma_2) (x + \Delta x_2), \quad (18)$$

а при другому положенні — з амплітудою:

$$U_4'' = S_4 \ln S_2 K_3 (1 + \gamma_2) (x_0 + \Delta x_2), \quad (19)$$

де S_4 — крутість логарифмічного перетворення.

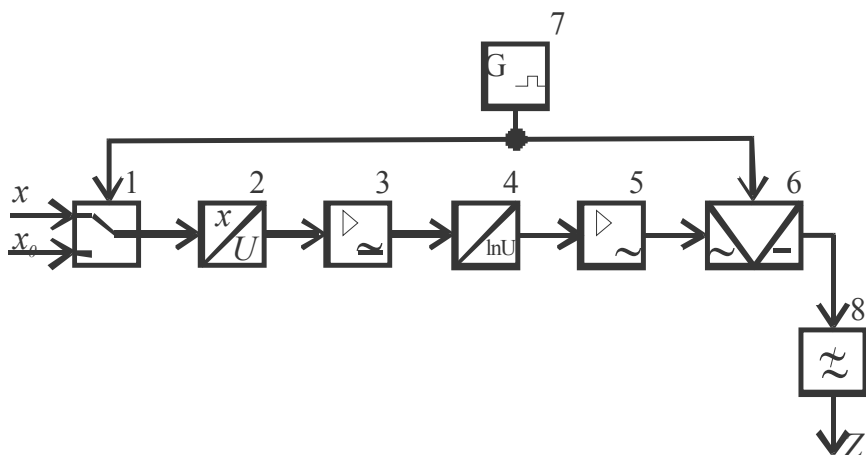


Рис. 5. Схема періодичного порівняння з функціональним (логарифмічним) перетворенням: 1 — автоматичний перемикач; 2 — сенсор; 3 — широкосмуговий підсилювач; 4 — логарифматор; 5 — підсилювач змінної напруги; 6 — синхронний детектор; 7 — комутаційний генератор; 8 — фільтр нижніх частот

При $x \neq x_0$ в послідовності імпульсів (18) і (19) присутня змінна складова напруги, яка підсилюється підсилювачем змінної напруги 5. Підсилену напругу можна представити у вигляді

$$U_5 = \frac{K_5}{2} S_4 [\ln S_2 K_3 (1 + \gamma_2)(x + \Delta x_2) - \ln S_2 K_3 (1 + \gamma_2)(x_0 + \Delta x_2)] \text{sign} \sin 2\pi Ft, \quad (20)$$

де K_5 — коефіцієнт підсилення підсилювача 5.

Ураховуючи те, що різниця логарифмів дорівнює логарифму відношення, отримуємо:

$$U_5 = \frac{K_5}{2} S_4 \ln \frac{(x + \Delta x_2)}{(x_0 + \Delta x_2)} \text{sign} \sin 2\pi Ft. \quad (21)$$

Вираз (21) можна представити і так:

$$U_5 = \frac{K_5}{2} S_4 \ln \left(1 + \frac{x - x_0}{x_0 + \Delta x_2} \right) \text{sign} \sin 2\pi Ft. \quad (22)$$

У виразі (22) похибкою Δx_2 можна знехтувати порівняно з уставкою x_0 . Тоді:

$$U_5 = \frac{K_5}{2} S_4 \ln \left(1 + \frac{x - x_0}{x_0} \right) \text{sign} \sin 2\pi Ft. \quad (23)$$

Другий член у (23) набагато менше одиниці, оскільки $x - x_0 \ll x_0$. Тому логарифмічну функцію можна розкласти в статечний ряд. Нехтуючи членами другого порядку малості в статечному ряду порівняно з одиницею, остаточно отримаємо:

$$U_5 = \frac{K_5}{2} S_4 \frac{x - x_0}{x_0} \text{sign} \sin 2\pi Ft. \quad (24)$$

Змінна напруга (24) випрямляється синхронним детектором 6 і згладжується фільтром нижніх частот 8. Вихідна напруга вимірювального каналу використовується як регулююча дія Z.

Методичні похибки, що виникають через зневагу адитивної похибкою у виразах (16) і (22), можна зменшити й навіть повністю виключити у вимірювальних каналах з самоналагодженням або автоматичною корекцією [6]. Питання проектування вимірювальних каналів періодичного порівняння з прямим і врівноважувачим перетворенням викладені в 3-х книгах навчального посібника [7]. Використанню конкретних типів сенсорів з комутаційно-модуляційною обробкою інформаційних сигналів широкого частотного діапазону присвячені праці [8–10].

Побудова вимірювальних каналів з періодичним порівнянням вимірюваної величини (технологічного параметра) із зразковою величиною (уставкою) вирішує значною мірою проблему підвищення достовірності контролю різних процесів на тлі прогресуючих (дрейфових) погіршень сенсорів та інших вимірювальних перетворювачів. Алгоритми одноканального перетворення порівнюваних величин повинні обиратися залежно від співвідношення мультиплікативної та адитивної складових погіршеності. Перспективне використання мікропроцесорних контролерів для реалізації складних багатотактних алгоритмів, що дають змогу придушити вплив як систематичних, так і випадкових похибок.

Література

1. Скрипник Ю. А., Дубровний В. А., Танюк Б. А. Контроль параметров технологических процессов в легкой промышленности. — К.: Техніка, 1980. — 239 с.
2. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. — 2-е изд., перераб. и доп. — К.: Вища школа, 1983. — 455 с.
3. Орнатский П. П., Скрипник Ю. А., Скрипник В. И. Измерительные приборы периодического сравнения. — М.: Энергия, 1975. — 232 с.
4. Скрипник Ю. А. Коммутационные цифровые измерительные приборы. — М.: Энергия, 1973. — 136 с.
5. Таланчук П. М., Скрипник Ю. О., Дубровний В. О. Засоби вимірювання в автоматичних та керуючих системах. — К.: Райдуга, 1994. — 658 с.
6. Таланчук П. М., Скрипник Ю. О., Дубровний В. О. Високоточні засоби вимірювання фізичних величин із самоналагодженням і автокорекцією похибок. — К.: Вид. ІЗМН, 1996. — 672 с.
7. Скрипник Ю. О., Присенко М. А., Дубровний В. О. Проектування засобів вимірювання з періодичним порівнянням. Вимірювання із зрівноважуючим перетворенням.: Навч. посібник. — К.: КНУТД, 2008. — Кн. 3. — 267 с.
8. Головкин Д. Б., Скрипник Ю. О., Шевченко К. Л. Частотно-дисперсійні аналізатори складу та властивостей матеріалів. — К.: МП Леся, 2002. — 179 с.
9. Скрипник Ю. О., Шевченко К. Л., Іпатів В. А. Розширення функціональних можливостей мостових схем з комутаційно-модуляційним перетворенням // Вісник КНУТД, № 2(34). — 2007. — С. 41–44.
10. Патент України № 43418. Модуляційний гетеродинний радіометр. Скрипник Ю. О., Шевченко К. Л., Ваганов О. А. Бюл. № 15 від 10.08.2009 р.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ

*Рамазанов С. К.,
д.т.н., д.е.н., проф.*

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОГЕННИМ ПРОМИСЛОВИМ ОБ'ЄКТОМ В УМОВАХ ЗМІШАНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

В сучасних умовах економічних криз, змішаної невизначеності та ризиків розроблення й дослідження економіко-математичних моделей і використання інформаційних технологій в еколого-економічному управлінні (ЕЕУ) промисловими виробничими системами є доволі актуальним.

Метою роботи є розроблення та дослідження динамічної моделі й алгоритмів функціонування гібридних інтелектуальних систем, які працюють в умовах змішаної невизначеності й дозволяють комбінувати традиційну кількісну інформацію з якісною, яка важко формалізується, у вигляді лінгвістичних і нечітких змінних.

Складності системи управління та сприйняття рішень залежить від рівня інформаційної визначеності, а її якість вища при обліку змішаної інформаційної невизначеності: стохастичної (I_c), множинної (I_m) і нечіткої (I_n).

Структуру системи еколого-економічного управління (ЕЕУ) техногенним промисловим підприємством (ТПП), яким є, наприклад, збагачувальна фабрика (ЗФ), за наявності змішаної інформаційної невизначеності представимо у вигляді рис. 1.

Тоді концептуальна модель технологічного процесу (ТП) можна подати як оператор $F_0 : U \times W \rightarrow X$, а моделі двох вимірювальних каналів ($B1$ і $B2$) можна представити у виді операторів:

$F\{B1\}: X \times V_X \rightarrow Y$, $F\{B2\}: C \times V_C \rightarrow \tilde{C}$, де X — простір станів, Y — простір вихідних змінних ТП, U — множина всіх допустимих управлінь C , $\tilde{C}$ — множина викидів і їх вимірів, відповідно, W , V_x , V_c — відповідна множина обурень і перешкод вимірів, причому $I_c = \{p(w), p(v_x), P(v_c)\}$ інформаційне поле стохастичної невизначеності; $I_M = \{w \in W, v_x \in V_x, v_c \in V_c\}$ — інформаційне поле множинної невизначеності; $I_H = \{\mu_{X_0}, \mu_{V_0}, \mu_{G^*}\}$ — нечітке інформаційне поле.

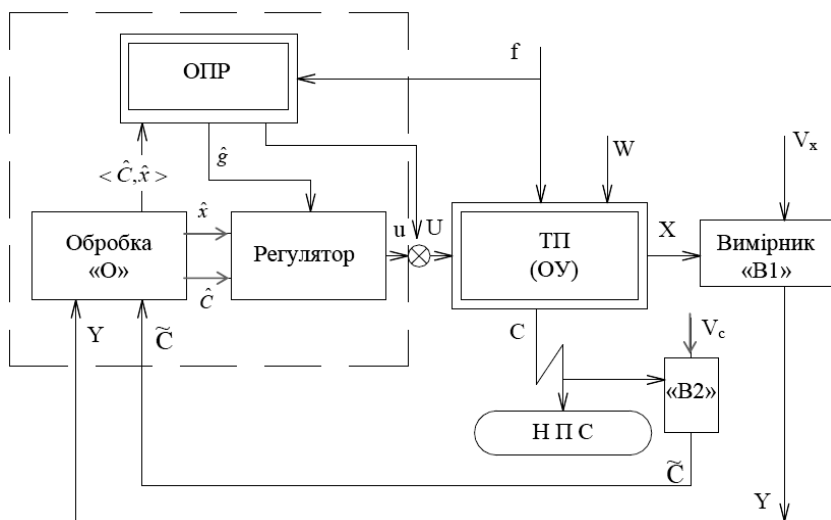


Рис. 1. Структура системи еколого-економічного управління в умовах змішаної інформаційної невизначеності

Змішану інформаційну невизначеність тепер можна описати у вигляді кортежу: $I_0 = \langle I_C, I_M, I_H \rangle$. При цьому єдина база даних і знань інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) ЗФ складається з об'єднання 3-х баз (B_0, B_1, B_2) усіх рівнів ієрархії з урахуванням можливої інформаційної невизначеності. Зауважимо, що на рис. 1: $g \in G^*$, G^* — множина можливих і нечітких завдань, $X \supset X_0$ — нечітка множина цілей, $U \supset U_0$ — нечітка множина обмежень на вектор управління, а $C \subset C^*$ — множина параметрів ГДВ (гранично допустимих викидів).

В якості функцій належності $\mu_{X_0}, \mu_{V_0}, \mu_{G^*}$, наприклад для спрощення, тут прийняті функції з властивостями «гаусовості», тобто функції виду:

$$\mu_{\Omega}(\omega) = \exp(-\omega^T R \omega), \mu_{\Omega}(0) = 1, \lim_{\|\omega\| \rightarrow 0} \mu_{\Omega}(\omega) = 0.$$

Таким чином, в умовах змішаної невизначеності завдання еколого-економічного управління та прийняття рішення зводиться до вирішення такої задачі оптимальності: $u = \operatorname{argmax}_w M_w \{ \mu_d(x, w) \} \equiv \operatorname{argmax}_{u \in U} M_w \{ \mu_{X_0}(F_0(u, w)) * \mu_{V_0}(u) * \mu_G(g) \}$ при $C \in C^*$.

Тут M_w — символ математичного очікування (усереднювання), а $*$ — символ композиції. На рис. 1 також прийняті містяться: $U = [u, r + \varepsilon_{\text{лпр}}]$ — прийняте рішення ОПР, де r — уточнення управління u , $\varepsilon_{\text{ОПР}}$ помилка ОПР; $\hat{x}$ і $\hat{C}$ — оцінки, отримані після обробки «О», f — контрольована ОПР дія на ТП.

Логіко-лінгвістичний опис. Розглянемо опис функціонування деякого складного об'єкта (технологічного процесу ЗФ) в нечіткій постановці.

Нехай ϵ множина інформативних вхідних параметрів $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ (тобто множина вхідних лінгвістичних змінних (ЛЗ) $\{X_j\}$) і множина вихідних параметрів $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ (тобто множина ЛЗ $\{Y_k\}$) об'єкта, причому $\forall X_j, j \in J = (1, 2, \dots, m)$ визначена терм-множина $A_j = \{a_1, a_2, \dots, a_{pj}\}, j \in J$ і $\forall Y_k, k \in K = (1, 2, \dots, n)$ визначена терм-множина $B_k = \{b_{1k}, b_{2k}, \dots, b_{qk}\}$. Для кожного значення (терма) $a_{ij} \in A_j$ відповідає нечітка підмножина $\tilde{A}_{ij}$ зі своєю функцією належності (ФН) $\mu_{\tilde{A}_{ij}}(X) \in (X_j)$, а $\forall b_{ik} \in B_k$ — нечітка підмножина $\tilde{B}_{ik}$, де (X_j) і (Y_k) — клас (алгебра) нечітких великих кількостей, визначених на базових множинах X_j і Y_k [3, 4].

Якщо розглядається, припустимо, технологічний процес вуглезабагачення, то, наприклад X_j — це величина зольності початкового вугілля (ЗПУ) $A_j = \{\text{надвелика, велика, середня, мала, дуже мала}\}$, $X_j = [10 \dots 90](\%)$, тобто $a_{1j} = \text{«надвелика»}$ $a_{2j} = \text{«велика»}$ і так далі.

Якісний опис ТП у термінах значень ЗП типу:

Якщо $a_{11}, \dots, a_{1m}$, , ТО $b_{11}, \dots, b_{1n}$, ІНАКШЕ....

.....
Якщо $a_{p1}, \dots, a_{pm}$, , ТО $b_{q1}, \dots, b_{qn}$, ІНАКШЕ....

називають схемою нечітких міркувань.

Наприклад, одне з правил має вигляд: ЯКЩО ЗПУ=<дуже мала>, ТО зольність концентрату = <невисока>.

Позначимо через $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_m$, і $B = B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n$, тобто. A і B — множина відповідних упорядкованих наборів терм-множин.

Тоді поведінка об'єкта (ТП) характеризується відображенням $F: A \rightarrow B$ (на мові терм-множин) або деяким відображенням

$$\tilde{F}: (X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m) \rightarrow (Y_1 \times \dots \times Y_n),$$

яке може бути отримане як нечітка відповідність для всіх

$$\mu_{\tilde{A}_{ij}}(X) \in (X_j), \mu_{\tilde{B}_{ik}}(Y) \in (Y_k), \mu_{\tilde{F}}: \bigcup_{i \in I} (\mu_{\tilde{A}_i} \times \mu_{\tilde{B}_i}),$$

$$\text{де } \mu_{\tilde{A}_i} = \bigcap_{j \in J} \mu_{\tilde{A}_{ij}}, \mu_{\tilde{B}_i} = \bigcap_{k \in K} \mu_{\tilde{B}_{ik}}.$$

Якщо тепер визначити нечітке відношення $R = \{\mu_R(x, y) | (x, y) \in X \times Y\}$, то для визначення деякого вихідного параметра B_i ТП треба визначити композицію нечіткої підмножини A_i , що діє на вході ТП, і відношення R , тобто $\mu_{\tilde{B}_i}(Y) = \mu_{\tilde{A}_i}(X) \circ R(X, Y)$ Наприклад, на мові «І-АБО» маємо

$$\mu_{\tilde{B}_i}(Y) = \bigvee_{x \in X} \{\mu_{\tilde{A}_i}(X) \wedge \mu_R(X, Y)\} = \max_{x \in X} \min \{\mu_{\tilde{A}_i}(X), \mu_R(X, Y)\}.$$

Це і є алгоритм нечіткого виведення в цьому разі.

Загальний алгоритм нечіткого моделювання. Алгоритм нечіткого моделювання технологічного процесу можна представити у вигляді:

- 1) виокремлення основних технологічних (системних) параметрів: входних (х), керуючих (u), вихідних (у), що збудують (w);
- 2) визначення (формування) лінгвістичних змінних (ЛЗ), тобто їх найменування, терм-множин і носіїв нечітких множин (НМ),

що відповідають термам, а також їх універсальні множини для основних технологічних параметрів:

Назва ЛП для параметра ТП	Терми	Носій відповід. НМ	Універсум
Зольність концентрата	Низька Середня	[]	[]
	Висока	[]	
...	...	...	...

3) формування бази правил: (j) : ЕСЛИ $\underbrace{A = T_i^A}_{antec_i}$, ТО $\underbrace{B = T_k^B}_{conveg_k}$;

де j — номер продукції, причому кожній продукції можна приписати кортеж $(j, CI <автор>, <дата>, <пояснення>)$, CI — міра істинності правила: $CI \in [0,1]$; $<автор>$ — ідентифікатор експерта — автора правила; $<дата>$ — дата введення правила у БЗ; $<пояснення>$ — текст авторського пояснення правила.

Зауважимо, що $antac_i \underline{\Delta} A_{i1} \wedge A_{i2} \wedge ... \wedge A_{ip}$
 $conveg_k \underline{\Delta} B_{k1} \wedge B_{k2} \wedge ... \wedge B_{kp}$;

4) формування матриці нечітких відносин:

$$R_s = \int \mu_{R_s}(a,b) \Big| (a,b), \quad S = \overline{1,n};$$

$A \times B$

5) об’єднання цих матриць: $R = \bigcup_{S=1}^n R_s$, де $\mu_R(a,b) = \max(\mu_{R_1}, ..., \mu_{R_n})$;

6) організація логічного висновку (ЛВ) за деякою схемою, наприклад, за правилом «modus ponens», тобто композиційне правило Л. Заде [7, 8].

Зазначимо, що хоча існують й інші правила композиції [6, 7], цей варіант є найзручнішим у застосуванні та реалізації.

Система інтелектуального управління. Об’єкти й процеси у вуглезбагачувальній технології належать до складних виробничо-транспортних систем, яким характерні фактори нестаціонарності, нелінійності, багатозв’язковості та істотні запізнювання в потоках і невизначеності в умовах прийняття різних рішень.

Розглянемо як приклад побудову і використання інтелектуальної системи управління процесом флотації, який визначається такими параметрами: збурюючи параметри — якісні показники

сировини; параметри, що управляють — режимні параметри, витрата сировини й реагентів; оцінювані (вихідні) змінні — вихід та якість вихідного товарного продукту; екологічні параметри.

Метою управління процесом флотації є таке: при заданих збуреннях необхідно визначити такі значення керівників змінних, які забезпечать бажані значення виходу товарного продукту, його якості за мінімальних значень викидів-забрудників у ЗПС.

Нині процес флотації частково автоматизований: на нижньому рівні здійснюється автоматичне управління поданням реагентів збирача й піноутворювача на вході у флотомашини (ФМ) та іноді автоматична стабілізація рівнів у ваннах ФМ.

До функції оператора ФМ належить режими пуску, останову процесу, діагностика стану, контроль якості роботи та ін. Для автоматизації вказаних функцій прийнятніше використовувати експертну систему з нечіткою базою знань (тобто, нечітка експертна система — НЕС). НЕС здійснює перетворення вхідної інформації у вихідну за алгоритмом: $Y=L\{U, F, X\}$, де $Y=\{Y_u, Y_v\}$ — вектор вихідних сигналів (Y_u, Y_v — відповідно вектори вихідних сигналів, доступних виміру й також, що сприймаються органами почуттів людини); $U = \{U_p, U_y, U_k, U_0\}$ — вектор дій, що управляють (U_p, U_y, U_k, U_0) — відповідно вектори управління, генеровані людиною, для регулювання процесу, дискретного управління та корекції сигналу управління регулятора, а також вектор управління, генерований системою автоматичного управління; $F=\{F_u, F_v\}$ — вектор обурюючих дій з компонентами: F_u — вектор, вимірюваний датчиками і F_v — той, що сприймається органами чуття людини; $X=\{X_1, X_2 \dots, X_n\}$ — вектор стану об'єкта управління.

На рис. 2 наведено схему даної гібридної НЕС, в якій загальне управління здійснюється за допомогою репродуктивно-перетворюючої машини, а управління якістю — автоматичних регуляторів і ЕС, побудованих на основі нечітких множин.

При розробці НЕС управління процесом флотації загалом необхідно врахувати низку вимог, наведених у працях [1, 3]. При побудові НЕС процесу флотації в цілому використаний наступний підхід. ЕС має базу знань (БЗ), що зберігає дані, про множинну продукції (рис. 2). Блок придбання знань об'єднує ті дані, що знову вводяться з уже існуючою БЗ.

Лінгвістичний процесор перетворить вхідні дані, представлені на обмеженій природній мові, у представлення на внутрішній мові системи; перетворить повідомлення системи, виражені на внутрішній мові, на повідомлення на обмеженій природній мові.

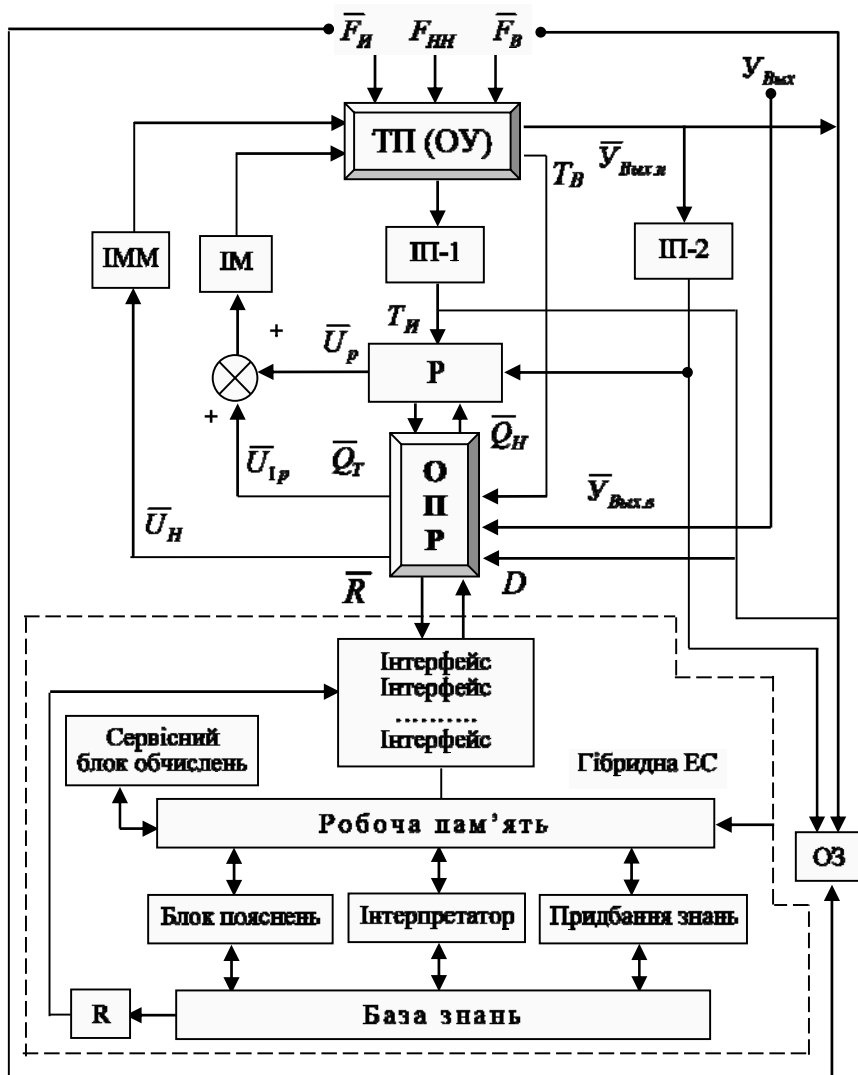


Рис. 2. Гібридна експертна система управління та прийняття рішень

Інтерпретатор на основі вхідних даних формує вирішення задачі. Пояснювальний блок повідомляє: 1) зазвичай, використовують інформацію ОПР; 2) чому використовувалися (не використовувалися) ці правила; 3) які були зроблені висновки. Усі пояснення

даються на обмеженій природній мові. Робоча пам'ять зберігає дані про перебіг процесу. ЕОМ забезпечує дружній інтерфейс між людиною та оператором і сукупної інформації про хід процесу флотації в чистому вигляді. Інтерфейс (компонента взаємодії, логічний процесор) реалізує також взаємодію між людиною та базою знань. Якщо оператор процесу хоче скористатися знаннями, що знаходяться в НЕС, то він передає необхідну інформацію для побудови вирішального правила.

Позначення: P_n — вимірюваний вектор шуму; P_v — сприйманий людиною (Л) вектор шуму; F_{nn} — невимірюваний і несприйманий вектор шуму; T_n — множина вимірюваних векторів стану ОУ (складові векторів є ознаками виробничих ситуацій); T_6 — множина сприйманих Л векторів станів ОУ; D — вектор даних про стан ОУ, що передаються людиною НЕС; R — вектор рекомендацій, генерований НЕС; $U_{вих,е}$ — множина векторів виходу ОУ, причому $U_{вих,и}$ — вимірюваний датчиками вектор, а $U_{вих}$ — сприйманий людиною вектор даних; Q_t — вектор поточних значень параметрів регулятора; Q_n — вектор корекції параметрів регулятора, Л, що задаються; U_p — вектор дій, що управляють, генерований регулятором; U_{1p} — вектор адитивних корекцій дії, що управляє, генерованих регулятором; U_c — вектор дій, що управляють, генерованих Л; $OЗ$ — облаштування зв'язку з ОУ; $\bar{R}$ — виведення (рішення).

Продукційна БЗ НЕС уявляється як трійка $\langle A, P, Q \rangle$, де $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ — множина фактів; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ — множина правил; $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$ — множина запитів до користувача.

База правил (БП) складається з кінцевого набору правил виду:

$$p_j : a_i \wedge a_k \wedge \dots \wedge a_l \rightarrow a_z; \quad j = \overline{0, n}; i = \overline{0, m}; l = \overline{0, g}; z = \overline{0, h}.$$

Запит є зверненням до фактів:

$$q_j = \{a_i, a_k, \dots, a_l, \dots\}, i, k, l, j = \overline{0, 1}, \dots$$

Уся таблиця продукційних правил наведена в роботі [1].

Розглянемо проблему управління процесом флотації як динамічним об'єктом. Функціональну схему цього процесу як об'єкта управління подано на рис. 3.



Як уже зазначалося, у процесі флотації автоматизовані лише функції подання реагентів, а інші функції, що управляють, виконуються вручну. Дослідженнями встановлено, що процес

флотації не може бути описаний детермінованою моделлю, тому доцільно використати модель, що ґрунтується на теорії нечітких великих даних, що дають змогу синтезувати інтелектуальну систему управління.

Метою управління процесом флотації є підтримка зольності концентрату на заданому рівні $A_k^d = A_k^{d*} \pm \Delta A_k^d$, де $A_k^{d*}, \Delta A_k^d$ — відповідно задана зольність флотоконцентрату й допустиме відхилення від завдання і зольність відходів на рівні не нижче заданого $A_0^d \geq A_0^{d*}$, де A_0^{d*} — задана зольність відходів.

У загальному вигляді зольність концентрату A_k^d і зольність відходів A_0^d є нечіткими функціями багатьох змінних:

$$\begin{aligned} A_k^d &= f_1(Q, \rho, q_n^*, q_C^*, q_n^{**}, q_C^{**}, A_C^d, H, \alpha, \gamma) \\ A_0^d &= f_2(Q, \rho, q_n^*, q_C^*, q_n^{**}, q_C^{**}, A_C^d, H, \alpha, \gamma) \end{aligned}$$

де α, γ — відповідно гранулометричний і фракційний склад твердої фази початкового живлення. Оскільки A_C^d, α, γ мають імовірнісний нестаціонарний характер, наведені залежності не можуть описуватися детермінованими функціями. Крім того, A_0^d і A_k^d корельовані між собою.

Для регулювання витрат реагентів використовуються прості П або ПІ-регулятори, завдання яким ставляться оператором. Динамічні властивості процесу флотації після каналів $q_n \rightarrow A_k^d, q_C \rightarrow A_k^d, q_n \rightarrow A_0^d, q_C \rightarrow A_0^d$ апроксимуються аперіодичними ланками першого або іншого порядку з чистим запізненням, коефіцієнти посилення змінюються випадковим чином залежно від властивостей збагачуваного вугілля, а постійне запізнення після каналів $q_n \rightarrow A_k^d$ і $q_C \rightarrow A_k^d$ досягає кількох десятків хвилин, оскільки вимір зольності концентрату можливий лише після його зневоднення. У більшості випадків інструментальні виміри зольності концентрату й відходів не виконуються, а їх значення визначаються шляхом обробки проб у хімлабораторії. У цьому разі чисте запізнення інформації про зольність досягає кількох годин. За цих умов надзвичайно важливе значення має компенсація збурень на вході об'єкта управління без запізнення

інформації, а інформація про якість продуктів збагачення може бути використана лише для корекції моделі.

Діями, що управляють, для процесу флотації є витрати реагентів:

$$q_{n1} = K_1 Q q_n^*; q_{n2} = K'_1 Q q_n^{**};$$

$$q_{c1} = K_2 Q \rho q_c^*; q_{c2} = K'_2 Q \rho q_c^{**},$$

де K_1, K'_1, K_2, K'_2 — коефіцієнти пропорційності, що визначаються експериментально залежно від характеристик збагачуваного вугілля та інших параметрів.

У деяких випадках на початку процесу стабілізують щільність шламу і його витрату. Для виключення впливу висоти пульпи у ваннах стабілізують її за допомогою простого регулятора прямої дії. У зв'язку з цим управління процесом здійснюється з метою підтримки заданих зольності концентрату та відходів флотації, а діями, що управляють, є витрати реагентів, кількість яких визначає їх питомі витрати $Q_n^*, Q_n^{**}, Q_c^*, Q_c^{**}$ і щільність пульпи. Дії, що безпосередньо управляють, реалізуються ОПР зміною установок $Q_n^*, Q_n^{**}, Q_c^*, Q_c^{**}$.

При розробці нечіткого регулятора процесом флотації у наведеній вище постановці завдання можна використати аналітичні й лінгвістичний методи синтезу. Перші методи можуть бути ефективні за наявності засобів безперервного виміру зольності концентрату й відходів флотації, а у разі епізодичного виміру зольності шляхом відбору та лабораторного аналізу проб або оцінки якості за допомогою органів чуття (колір, в'язкість та ін.) прийнятніше використати лінгвістичний метод синтезу. Оскільки процеси флотації на переважній більшості збагачувальних фабрик не мають інструментальних методів контролю якості кінцевих продуктів, розглянемо синтез нечіткого регулятора лінгвістичним методом.

Якісну інформацію про процес флотації можна отримати в оператора. Введемо значення лінгвістичних змінних (терми), що описуються відповідними нечіткими підмножинами, заданими на універсальних множинах О, ОС, ОМ, Н, ПМ, ПС, ПБ — відповідно «негативно велике», «негативно середнє», «негативно мале», «норма», «позитивно мале, середнє, велике». За необхідності на універсальній множині можна вказати більшу кількість термів (наприклад, негативно нижче велике, середнє, мале і т.д.).

Зазвичай для динамічних об'єктів як базові змінні використовують вихідну координату й швидкість її зміни. Для процесу

флотації завдання можна значно спростити й скористуватися тільки вихідною координатою, оскільки постійна часу об'єкта значно менша часу чистого запізнення. Цим динамічне завдання фактично зводиться до статичного. Проте при цьому слід урахувати постійне запізнення та змінювати управлінські дії. На вході процесу допустимі лише значення з інтервалами часу $T_y \geq \tau_z + T_{n.n}$, де τ_z — час постійного запізнення $t_{п.п}$ — тривалість перехідного процесу $t_{n.n} \approx (3-5)T$, T — постійна часу об'єкта управління.

Тоді для всіх базових змінних вводяться лінгвістичні змінні, що описуються відповідними нечіткими підмножинами і ФН, заданими на універсумах (рис. 4). Для цього процесу маємо 4 керівники входу і 2 — виходи. На підставі досвіду роботи кваліфікованих операторів процесу флотації складається таблиця у вигляді продукції, наприклад: «ЯКЩО $A_k^d \in O$ $A_0^d \in OC$, ТО $Q_n^* \in PM$ $Q_c^* \in PC$ $Q_n^{**} \in H$ $Q_c^{**} \in PM$ ».

Усі продукції вводяться в базу знань, а за необхідності доповнюються і коригуються.

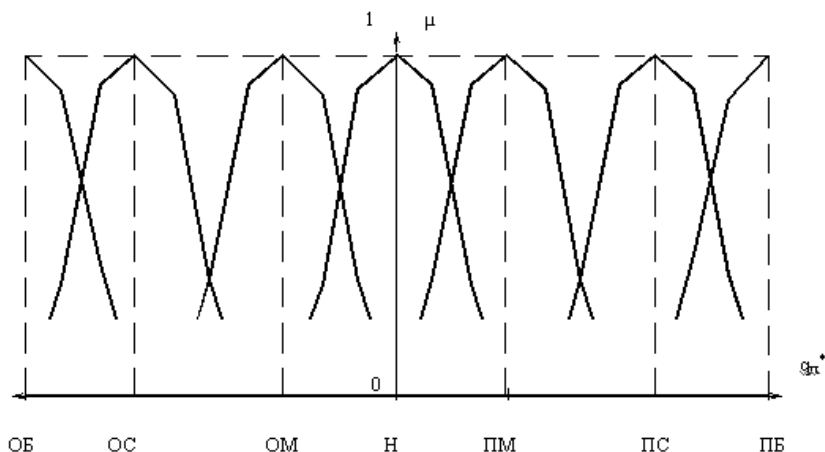


Рис. 4. ФН, що відповідають термам {О, ОС, ОМ, Н, ПМ, ПС, ПБ}

Примітка. Аналогічні ФН мають ті, що відповідають термам змінних $q^*, q_c^*, q_n^{**}, A_k^d, A_o^d$.

При формуванні бази знань слід урахувати загальні стани. Назвемо їх.

1. При недостатньому поданні реагенту збирача на початку процесу (АКП) порушується утворення флокул, що призводить до збільшення втрат горючої маси з відходами, що призведе до зниження зольності відходів. Зольність концентратів при цьому знижується.

2. При надмірному поданні реагенту збирача у флокули можуть потрапляти частки породи, тому зольність концентрату збільшується, а зольність відходів також може зростати.

3. При недостатньому поданні реагенту піноутворювача в АКП знижується інтенсивність утворення пінного шару. Не всі вугільні частки спливають, тому зольність концентрату знижується, а втрапи вугілля з відходами зростають (зольність їх знижується).

4. У разі надмірного подання реагента піноутворювача разом з вугільними промпродуктовими частками спливають і порідні, тому зольність концентрату збільшується, а зольність відходів при цьому може також зростати. У цьому режимі небезпечно запінення флотації, що вважається аварійним режимом.

5. Для підвищення ефективності флотації використовують режим так званої дробової флотації, сутність якої полягає в поданні реагентів безпосередньо в камери флотомашини. Цим досягається витягання великих класів вугілля, які важко флотують.

6. При збільшенні подання реагенту збирача в камери флотомашини знижуються втрати вугілля з відходами, зольність відходів зростає, а зольність концентрату може як збільшуватися, так і зменшуватися.

7. Подання реагенту піноутворювача в камери флотомашини призводить до витягання великих часток вугілля, і як результат — до зниження зольності концентрату і збільшення зольності відходів.

Таким чином, існують оптимальні значення $Q_n^*, Q_n^{**}, Q_C^*, Q_C^{**}$, які можна знайти лише комп'ютерним експериментом. З досвіду експлуатації відомо, що залежності зольності концентрату й відходів від питомих витрат реагентів можуть бути монотонними або мати екстремум. У разі монотонної залежності при передозуванні реагентів існує вірогідність підвищеної витрати, що призводить до зростання рівня забруднення доквілля.

Експертна система управління якістю концентрату й відходів припускає коригування та поповнення бази знань. Указана система реалізована на ПК.

Використання експертної системи дасть змогу знизити втрати вугілля з відходами збагачення та витрату реагентів, мінімізувати обсяг викидів і поліпшити якість роботи процесу флотації загалом.

Синтез гібридних регуляторів для управління технологічними процесами виробництва. У процесі управління складними промисловими об'єктами особа, яка приймає рішення (ОПР), у більшість випадків ґрунтується на своєму сприйнятті можливої і випадкової інформації та її вираженні за допомогою лінгвістичних понять і міркувань. Така інформація на практиці є слабо структурованою та носить якісний і нечисловий характер, що зумовлює її розмитість. Теорія можливостей і нечітких множин дає змогу уявляти й контролювати розмиту інформацію в кількісній мірі, що сприяє створенню нечітких активних експертних систем [4–7].

Водночас, практика застосування нейронних мереж показує, що вони також мають властивість розмитості головним чином через їх розподіл. Це призводить до необхідності розроблення гібридних інтелектуальних систем управління, тобто нечітких систем управління із самонавчанням на основі нейромоделювання.

Перелік проблем, які мають бути вирішені, зумовлюють наявність різного ступеня невизначеності початкового й апостеріорного інформаційного поля. І залежно від рівня невизначеності слід використати ті чи інші методи обробки інформації та моделювання, управління й ухвалення рішень, причому слід урахувати необхідність і важливість участі в указаних процесах ОПР, оскільки пропонується система належить до класу ергатичних систем на зразок тих, що наведені на рис. 5, де використані такі позначення: Y — ухвалення рішень і загальне управління, H — спостереження, Z — сенсорні засоби, Ξ — ефектори, X — вектор стану процесу і його оцінка, u — локальне управління, U — узагальнене управління, W — збурення, F — задане перетворення, Z і Z^* — поточний і заданий вектор стану.

Таким чином, для локального управління технологічними процесами 3Ф в ІАСУ можна використати структурну схему гібридного інтелектуального регулятора, представлену на рис. 5, де використані такі позначення: F/D — фузіфікатор/дефузіфікатор, тобто інтерфейси умов і дій; E — обробка та оцінювання (фільтрація), I — інтерфейс технолога, f/w — контрольоване/неконтрольоване збурення, u/U — управління/рішення, a — оцінка вектора параметрів моделі ТП, B — вектор вимірів, БПР — блок прийняття рішень, а інші позначення наведено на рис. 5.

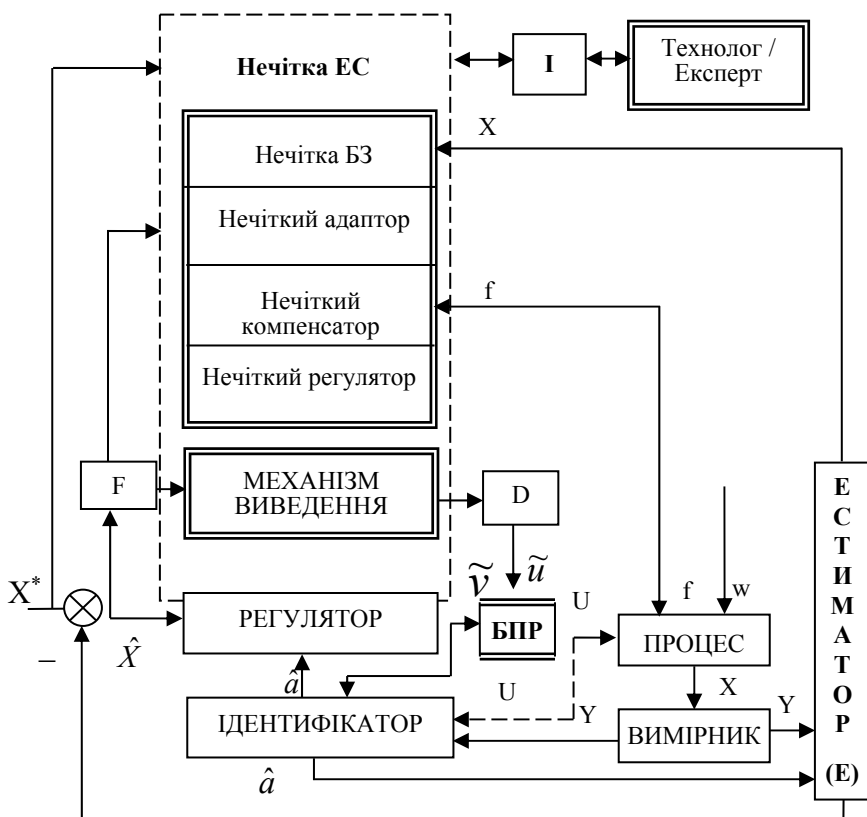


Рис. 5. Структурна схема гібридного інтелектуального регулятора

До основних елементів гібридизації на цьому рівні належать інтеграція баз даних, знань, моделей і алгоритмів управління та прийняття рішень на основі узагальнених критеріїв.

Знання в нейронній мережі подано у вигляді розподіленої системи з ваговими коефіцієнтами між блоками й вузлами мережі як комплекси на зразок: «Навчання + Обчислення + Обробка». Під обробкою знань мається на увазі забезпечення однакової поведінки нейросистеми за рівних зовнішніх умов і дій. Така властивість систем є важливою характеристикою для багатьох застосувань, зокрема для активних експертних систем.

Розглянемо проблему створення елементів гібридної системи управління, яка ґрунтується на нечіткій експертній системі з нейронною мережею навчання, при цьому також вирішено завдання,

яке коротко можна сформулювати так: припустимо, що створена база знань, що складається з незалежних правил виду: IF <Умова> THEN < Дія >. Розробимо алгоритм виведення рішення за будь-яких нових не описаних у базі ситуацій. Таким чином, нехай є сукупність L-правил виду: RULE1 ALSO RULE2.....ALSO RULEL, де RULEJ має форму: IF X1 is A_{ij} and X2 is A_{2j} and ... and X_n is A_{nj} THEN Y1 is B_{1j} and Y2 is B_{2j}..... and Y_m is B_{mj}.

Тут X₁, X₂,..., X_n — вхідні лінгвістичні змінні в частині IF, тобто змінні, які набувають значень з універсумів U_i=(U_{i1}, U_{i2},..., U_{in}), а Y₁, Y₂....Y_m — вихідні лінгвістичні змінні в частині THEN, тобто змінні, які набувають значень з універсумів V_k=(V_{k1}, V_{k2},...,V_{km}). Вхідні дані задаються у вигляді: X₁ є C₁, I X₂ є C₂,..., X_n є C_n, а вихідні — як Y₁ є D₁, I Y₂ є D₂,..., I Y_m є D_m, де A_{ij}, C_i, B_{kj}, D_k є нечіткими підмножинами, які визначені відповідно до універсумів і є деякими термами типу: високий, низький, нормальний, середній і т. д. При вирішенні цієї задачі в якості кількісного ступеня оцінки виведення застосуємо функції приналежності виду:

$$A_i^j(U_i): U_i \rightarrow [0,1], C_i(U_i): U_i \rightarrow [0,1], B_k^j(V_k); \\ V_k \rightarrow [0,1], D_k(V_k): V_k \rightarrow [0,1].$$

Механізм виведення отриманий у вигляді:

– визначення ступеня можливості β_i^j для кожного і в правій частині IF;

– визначення загального ступеня $\beta^j = \Lambda_1^n \beta_i^j$;

– визначення композиції $\beta^j \phi \beta^j(v) = \beta^j \wedge \beta^j(v)$.

Якщо при виведенні рішення використовується більш як одне правило, але з різними β^j (тобто всі правила задовольняють умові $(\beta > \beta_0)$), то їх можна об'єднати за допомогою оператора $\cup$.

Таким чином, отримано загальне рівняння механізму наближеного виведення в такому вигляді: $D^j(v) = \bigcup_{k=1}^K \left\{ \left[\bigcup_{i=1}^n \beta_i^k \right] \cap \beta^k(v) \right\}$,

де K — загальне число правил, що використані при прийнятті рішень за умови $\beta > \beta_0$, де β_0 — величина порогу, що встановлюється експертом при виборі домінуючих правил.

У запропонованому варіанті механізму виведення використовується багаточарова нейронна мережа, а саме мережа BNN (Back-propagation Neural Network). При цьому отримано відповіді на такі питання, що стосуються застосування нейронної мережі

BNN: скільки шарів достатньо для мережі що використовується? Скільки вузлів обробки потрібно для кожного прихованого (внутрішнього) шару мережі? Скільки та яка інформація потрібна при реалізації відображення (модель «вхід — вихід») у нейронній мережі для механізму наближеного виведення. Отримані в роботі результати можуть бути використані в системі управління технологічними процесами вуглезбагачення, металургії, цементного виробництва та ін.

У проектуванні розмитих систем управління та їх реалізації процедури представлення знань, міркувань і придбання знань відіграють фундаментальну роль. Оскільки ми використовуємо модель, що ґрунтується на правилах, тобто продукційну структуру, з представлення знань, що мають певне значення і представлені, як лінгвістичні правила, чисельно використовуючи розмиті підмножини й розмите співвідношення або розмиту імплікацію. Є два підходи до формування бази правил у розмитих системах. Назвемо їх.

1) набір правил, що отримані від досвідченого експерта, може бути виражений набором лінгвістичних правил з формою **ЯКЩО** <Умова> **ТО** <Дія>, що зв'язує вимірювані змінні;

2) синтез бази правил, заснований на алгоритмі розпізнавання, безпосередньо використовує керований (досліджуваний) процес.

Розмита система може бути елементом активного управління або функцією наближення (для моделювання процесу). Для першого: припустимо, що для певної системи відомий набір входів X і вихід Y , база правил отримана з доступного джерела, що містить набір правил, зв'язуючи X з Y , використовуючи обумовлені лінгвістичні позначення. Розмита система на лінгвістичному рівні може бути встановлена так, як показано на рис. 6.

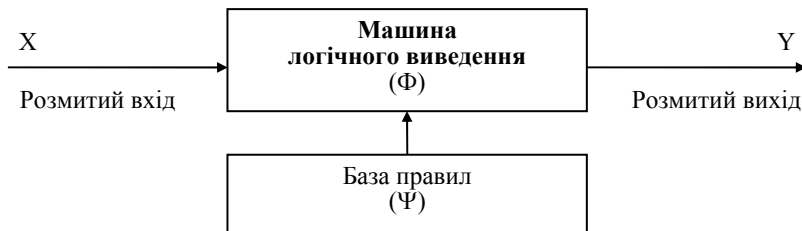


Рис. 6. Спрощена схема розмитої системи

Для $X_0, Y_0 = \Phi(\Psi_x^y, X_0)$. Механізм працює таким чином:

– процес виведення спочатку виконує процедури відповідності між X <умова> і **ЯКЩО** частинами правил;

– виконує відповідну дію «ТО», на основі результату відповідності з «ТО» частинами правил, що використовують розмиту стратегію виведення.

Щоб виконувати розмиту систему в обчислювальній формі, один з алгоритмів повинен створити матрицю співвідношень з доступної бази правил, і реакція на виході Y розрахована рівнянням співвідношення $Y = X \circ R$, де символ « $\circ$ » означає логічний оператор, що виконує композицію виведення.

Друге виконання розмитої системи — як функція апроксимації, тобто моделювання процесу. При цьому взаємодію з довкіллям система здійснює через дві процедури, а саме: фузифікації (FZ), дефузифікацією (DF) (рис. 7).

На рис. 7: $Y = F(X)$, $y = f(x)$.

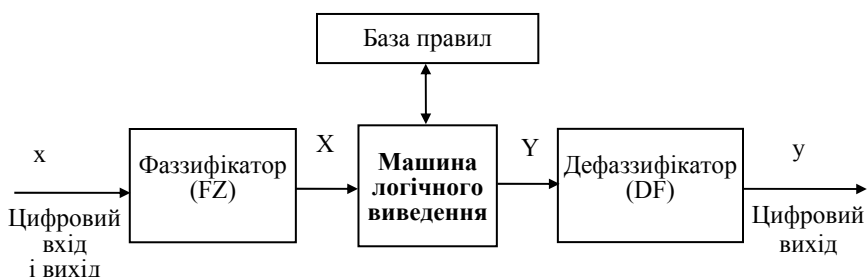


Рис. 7. Процедура фазифікація — дефазифікація

Такою моделлю системи ми можемо представляти відому або невідому функцію, лінійну або нелінійну. Виконавцем розмитого алгоритму в системі активного управління може бути як прямий контролер, або як супервізор, де функція розмитої системи перебуває в контурі низького рівня.

Розроблення інтегрованої системи управління. Для розроблення нечіткої нейронної структури управління можна використати дві ідеї: перша — зробити існуючу розмиту систему нейронною, друга — «розмити» існуючу нейронну мережу. Перше завдання виконується відображенням розмитої системи в нейронній мережі функціонально або структурно. Зазвичай виникають такі питання управління: заданий для управління процес може бути невизначеним і малозрозумілим; можливість допустити опис, наприклад, еталонною моделлю, математичною функцією вартості, індексною таблицею або розмитими цілями; завдання набору обмежуючих умов, що накладаються характеристиками

цієї фізичної системи; використовуючи наявні знання про процес і технології, створити контролер так, щоб система централізованого управління поводити так, як очікується за умови задоволення й підтримки вказаних характеристик. Вирішення вказаної вище проблеми з використанням нечіткого нейронного підходу формулюється таким чином: при цьому процесі (об'єкті) P наборі обмежень Q і цілі R обрати структуру контролера S і обчислювальний алгоритм T , використовуючи попередні знання U і алгоритми навчання V , для створення S так, щоб досягти R за умови Q , тобто для проблеми управління (P, Q, R) наше завдання полягає в тому, щоб створити (S, T) , використовуючи (U, V) .

Під нечітким нейронним управлінням ми, зазвичай, розуміємо таке: контролер має структуру, що виходить з поєднання розмитої системи й нейронних мереж; підсумкова система управління складається з розмитої системи та нейронної мережі як незалежних компонентів, що виконують різні завдання, і гібридних методологій проектування для побудови відповідних контролерів, походять з ідей розмитого й нейронного управління.

Процес виведення рішення може бути таким, що конкурує (альтернативним) або об'єднує, залежно від відповідного алгоритму міркувань. Після завдання структури нечіткої нейронної системи відповідним обчислювальним алгоритмом необхідно приділити увагу ролі цієї системи у вирішенні проблеми управління. Для представлення знань і їх отримання ми використовуємо: нейронну мережу із зворотним поширенням (BNN), реалізація алгоритму наближення якої описано на рис. 8, тобто це мережа проти поширення (CPN), яку в спрощеному варіанті алгоритму розмитого управління подано на рис. 9.

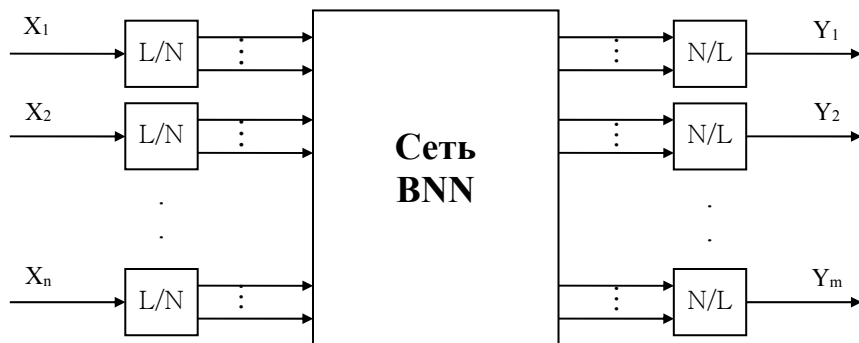


Рис. 8. Схема НМ із зворотним поширенням

Зазначимо, що при розгляді розмитої системи й нейронної мережі як двох різних обчислювальних елементів, вони можуть бути конфігуровані на рівні систем ієрархічним способом: розмита система буде супервізор або нейронна мережа, контролер низького рівня, безпосередньо керований промисловим об'єктом.

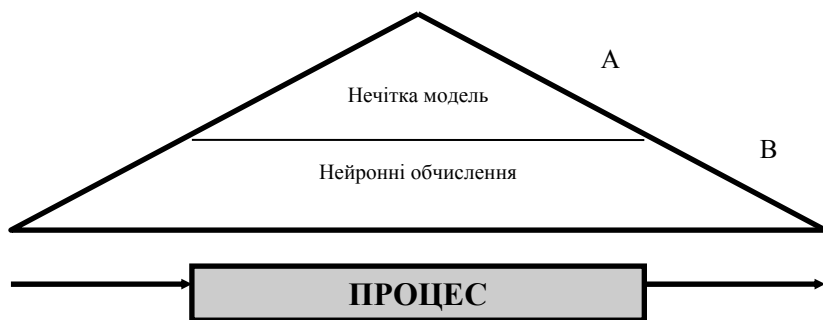


Рис. 9. Спрощена структура змішаного управління

Тут другий рівень — безпосередньо контролер змінних процесу (Нейронні мережі + Програмований Логічний Контролер (PLC)).

Інший тип інтеграції між нейронними мережами та розмитою системою.

У результаті злиття та інтеграції розмитої системи з нейронними мережами ми отримуємо розмиту нейронну систему, яка називається «Гібридна система управління». Гібридизація зумовлена тим, що, з одного боку, розмиті системи мають справу з якісною інформацією, а з іншого. нейронні мережі мають справу з кількісною (числовою) інформацією. Основна ідея та перевага реалізації такої системи полягає в тому, що розмита система має величезні можливості в уявленні лінгвістичних і структурованих знань за допомогою розмитих множин і виконанні нечітких міркувань нечіткою логікою якісним способом (використовуючи досвід експертів у проблемній галузі), і, з іншого боку, нейронні мережі особливо придатні для представлення нелінійного відображення обчислювальним способом, вони створюються самі по собі в основному через алгоритми навчання на вибірках.

Очевидно, можна легко зрозуміти поведінку розмитих систем завдяки їх логічній структурі та покроковості процедур введення/виведення; нейронні мережі зазвичай діють як чорний ящик. Головну структуру конфігурації ієрархічної системи з розподіле-

ними логічними функціями виміру, регулювання та управління показано на рис. 10. Тут $A+B$ становлять супервізорний рівень, а $C+D$ — рівень, що управляє.

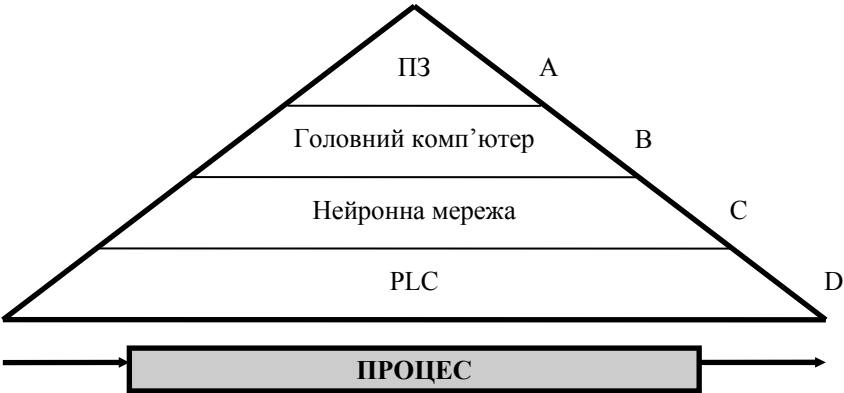


Рис. 10. Ієрархічна система з розподіленими функціями управління

Диспетчерське управління складається зі збирання та зберігання інформації про значення параметрів керованого процесу та аварійні сигнали, оцінки продуктивності, тривалості роботи й іншої статистики тощо. Процедура діалогу й процедура звітності для кожної регульованої змінної в аналоговому або цифровому вигляді називається «точкою», і для кожної точки є так звана «технологічна карта точки». Комплект технологічних карт точки, що відповідає всім регульованим змінним процесу в будь-який момент години містить повну інформацію про експлуатаційний стан процесу (рис. 11).

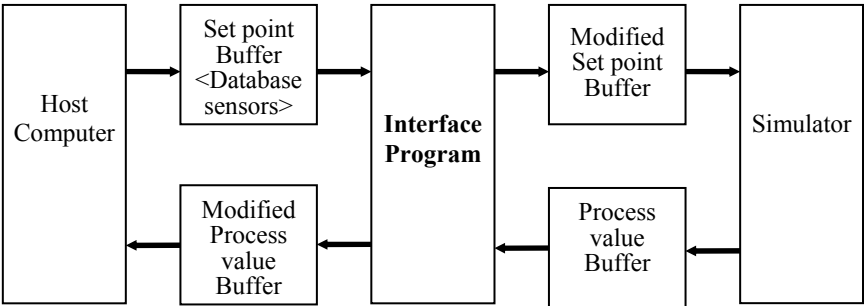


Рис. 11. Загальна схема управління

Висновок

У роботі розроблено методику й алгоритм створення гібридних інтелектуальних систем, що функціонують в умовах змішаної невизначеності та дають змогу комбінувати традиційну кількісну інформацію з якісною важкоформалізованою інформацією у вигляді лінгвістичних і нечітких змінних.

Література

1. *Рамазанов С. К.* Модели эколого-экономического управления производственной системой в нестабильной внешней среде : Монография. — Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2004. — 384 с.
2. *Рамазанов С. К., Припотень В. Ю.* Методы и информационные технологии управления предприятием в условиях нестабильностей : Монография. — Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2006. — 256 с.
3. *Рамазанов С. К.* Инструменты эколого-экономического управления предприятием : Монография / Под ред. проф. Ю. Г. Лысенко. — Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2008. — 351 с.
4. *Воронкова А. Э., Козаченко А. В., Рамазанов С. К., Хлапенков Л. Е.* Современные технологии управления промышленным предприятием. — Монография. — К.: Либра, 2007. — 256 с.
5. *Алиев Р. А., Абдикеев Н. Р., Шахназаров М. М.* Планирование производства в условиях неопределенности. — М.: Радио и связь, 1990. — 286 с.
6. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. — М.: Наука, 1986. — 318 с.
7. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польск. И. Д. Рудинского. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 344 с.
8. *Zudeh L. A.* Knowledge representation in fuzzy logic // IEEE Trans. Knowledge and data engineering, 1989. — v. 1. — Pp. 253–283.

**Ріппа С. П.,
д.е.н., проф.,
Ріппа М. Б.,
к.е.н., доц. каф. фінансів УДФСУ (Ірпінь)**

ІСО ЯК ІНВЕСТИЦІЙНИЙ ВИМІР КРИПТО-ЕКОНОМІКИ

Доцільність розвитку національних крипто-валют

За останнє десятиліття крипто-економіка змінила реальність ІТ-сфери й зараз слово «крипто-валюта» не викликає в більшості людей подив. З'явилися крипто-трейдери й заробітки на біткоїнах та інших цифрових монетах, які вимірюються мільйонами. Більше того, популярність крипто-валюти досягла такого рівня, що деякі країни починають процеси створення національних крипто-валют. Постають питання: чи є підстави сприймати такі заяви серйозно й наскільки зможуть національні цифрові валюти вплинути на світову економіку? Відповідь також інноваційна — ІТ-інвестиції отримали новий вимір на платформі блокчейн.

Поняття *національних крипто-валют* у цьому контексті посідає вагоме місце. Усе частіше експерти висловлюють думку про те, що в найближчій перспективі крипто-валюта цілком здатна стати звичайним платіжним засобом, який використовуватиметься в усьому світі. Уже зараз багато онлайн-магазинів та інших подібних сервісів перейшли на оплату крипто-валютою, і навіть підприємства фінансового сектора придивляються до крипто-технологій. Наприклад, американські банки активно тестують технологію *Ripple*, а чимало азійських компаній переходять на алгоритм *NEM*.

В умовах усе зростаючої популярності крипто-валют до цифрових грошей почали придивлятися й держави. Одні країни заборонили використовувати крипто-валюту, інші — запровадили обмеження на її обіг, а треті — узагалі визнали офіційним платіжним засобом. Але всі зрозуміли, що, якщо крипто-валюта обійде за популярністю звичайні гроші, єдиним варіантом виживання для офіційних грошових знаків стане перехід у формат крипто-валюти.

Фактично крипто-економіка вийшла на рівень ідеї створення національної крипто-валюти — цифрового аналога офіційної валюти країни, що функціонує на основі блокчейну або іншої крипто-технології. Зрозуміло, звичайні користувачі не зможуть добувати (майнити) такі монети — їх випуском повинні зайнятися державні фінансові установи.

У багатьох країнах уже розпочався процес формування *національних крипто-валютних систем*. Найчастіше цей процес відбувається *post factum*. Однак поки що про створення національних крипто-валют заявили лише окремі країни. Характерно, що деякі з них розглядають власну електронну монету як засіб для розв'язання фінансових і соціально-економічних проблем.

- *Японія* є лідером у сфері крипто-інновацій і японське законодавство не обмежує роботу з цифровою валютою, а регулює та контролює її. Створена спеціальна Комісія з крипто-активів і законодавчо регулюються біржі цифрових валют. Крипто-валюта в Японії оподатковується в розмірі, який відповідає стандартним правилам законодавства. Уважається, що в країні висхідного сонця рівень використання готівки перевищує 70 %, і уряд витрачає забагато коштів на транспортування, інкасацію та аудит паперових грошей. Тому запровадження національної крипто-валюти *J-Coin* має знизити витрати та оптимізувати роботу державних фінансових установ. Виплату податків у крипто-бізнесі взяла під свою опіку ліберально-демократична партія Японії і затвердила відповідне законодавство щодо оподаткування крипто-валюти. Розмір внесків відповідає всім законам Японії, виходячи з цього, фізичні особи сплачують прибутковий податок, а юридичні — податок з прибутку, а при продажу крипто-валюти стягується податок на додану вартість.

- *Швеція*. Експерти зазначають, що ця скандинавська країна переживає кризу паперових грошей — у 2017 році тільки 15 % усіх проведених платежів були сплачені готівкою. В умовах, коли паперові гроші втрачають актуальність, а електронні платежі не гарантують повної захищеності операцій, створення національної крипто-валюти виглядає цілком доцільним. Про це й заявив уряд Швеції, який уже веде переговори про створення крипто-крони з Центральним Банком (*Riksbank*). У квітні 2018 року урядом Швеції був ініційований проект з відомою фірмою *Kryptonex Research Group*, яка почала підготовку до випуску офіційної крипто-валюти. А в жовтні 2018 року Центробанк Швеції долучився до розробки електронної валюти, оскільки у фінансових колах Швеції ведеться широка кампанія, спрямована на забезпечення майбутніх платіжних безготівкових систем. Мета полягає в «розробці протестованої та готової до експлуатації електронної крони (e-krona)», яка може бути запроваджена, йдеться у повідомленні Центробанку про електронну валюту, при цьому «...початковий акцент буде зроблено на е-крону, яка орієнтована на електронні платежі без відсотків з можливостями відстеження транзакцій»

[1]. У рамках наміченого на 2019 рік пілотного проекту розробники також планують запровадити рішення, яке дасть змогу розраховуватися за допомогою карт або мобільного додатку. Крім того, перед тим, як запровадити цифрову валюту, заплановано ухвалити необхідні нормативні закони.

- *Велика Британія* вважається лідером світових новацій інтеграції крипто-валют з готовою законодавчою базою для віртуальних операцій, тому крипто-валютна інфраструктура в цій країні оцінюється експертами доволі високо. Англійська економіка надає різноманітну підтримку в реалізації міжнародних проєктів щодо регуляції цифрових валют, а також допомагає стартаперам, спонсоруючи їх. Водночас остаточна позиція з цього виду діяльності поки що не визначена законодавством Великої Британії. Тому крипто-валютні операції знаходяться в стані «правового вакууму». Згідно з повідомленням авторитетного видання *Telegraph* поява національної крипто-валюти, яка прив'язана до фунта стерлінга, очікувалась у 2018 році, але цього не відбулось. Експерти припускають, що затримка пов'язана з *Brexit*-ом, причому, навіть із запізненням, це допоможе реформувати банківський сектор і підвищити популярність Банку Великобританії серед громадян у контексті введення крипто-валюти. Адже вони зможуть зберігати у віртуальному форматі свої гроші та за лічені секунди здійснювати великі покупки.

- *ОАЕ*. Емірати офіційно заявили про випуск власної крипто-валюти *emCash*. Більш того, у Дубаї оголосили, що велика частина урядових і офісних функцій також виконуватиметься за допомогою технологій блокчейну. Агентство *Reuters* повідомило, що Об'єднані Арабські Емірати (*OAE*) планують ухвалити в 2019 році нові закони, які дають змогу компаніям залучати фінансування за допомогою первинних грошових коштів (*ICO*) як альтернативи традиційним методам інвестування (*IPO*). Глава регулятора *OAE* *Обайд Саїф аль-Заабі* повідомив, що «...Комісія Бюро *OAE* з цінних паперів і біржових товарів схвалила використання *ICO*-токенів як цінних паперів і ми очікуємо, що ці правила набудуть чинності вже у 2019 році». За словами *Заабі*, його відомство співпрацює або з трейдинг-платформами в Абу-Дабі та Дубаї з метою підготовки до роботи з новими цифровими активами [2].

- *Китай*. Країна заборонила використання біткоїнів і проведення *ICO*, проте не відмовилася від планів на створення власної крипто-валюти. Влада сподівається, що поява цифрового юаня скоротить транзакційні витрати й збільшить державний контроль над валютними операціями. Китай — це й технологічно, і еконо-

мічно найрозвинутіша країна світу, й очікувано, що крипто-валюти в Китаї регулюється також за допомогою інноваційних інструментів.

На початку 2018 року в Китаї виникла необхідність у додатковій регуляції фінансової сфери крипто-валюти, пов'язаної з розрахунками й розподілом енергоресурсів і великими масштабами спекулятивних операцій з віртуальною валютою. Цифровий ринок віртуальних грошей стає настільки популярним, що уряд починає вносити зміни в регулююче законодавство. На сьогоднішній день крипто-валюта у Китаї вже досягла статусу товару. Реєстрацію крипто-валютних бірж проводиться спеціальним телекомунікаційним бюро.

Через швидкі зміни податкової системи в країні бізнес-структури почали адаптуватися до інноваційних ринкових відносин з цифровими фінансами. За даними чинного законодавства, у Китаї в операціях, де фігурує крипто-валюта, знімаються податкові нарахування: податок на доходи, нарахування на збільшення капіталу й на додану вартість.

- *Венесуела.* У південноамериканській країні, яка сьогодні переживає найбільшу за всю історію інфляцію, йде активна підготовка до запуску національної крипто-валюта *El Petro*. Вартість монети буде підкріплена нафтовими запасами країни (звідси й назва), а урядовці впевнені, що власна крипто-валюта допоможе «подолати фінансову блокаду й сприятиме боротьбі зі спекулятивним долларом».

- *Індія* також виступає проти використання біткоіну та інших крипто-валют, проте планує випустити власну цифрову валюту *Laksmi*. У квітні 2018 року Центробанк Індії заборонив регульованим фінансовим установам обслуговувати інтереси представників індустрії крипто-валюти, таких як біржі. За оцінками експертів, влада Індії може узаконити крипто-валюту, установивши низку суворих обмежень для цієї галузі — пише *New Indian Express*. Відповідно до публікації, сформований урядом комітет з вивчення крипто-валюти не поділяє ідею її повної заборони [3].

Приклади ставлення до національних крипто-валютних систем можна було б продовжити, але домінуючі підходи вже проглядаються. Це переважно товарний статус віртуальних валют, а також сувора фінансова дисципліна, спрямована на попередження спекулятивних операцій на біржах і обережне ставлення банківської системи до крипто-розрахунків. Діаметральні позиції, пов'язані з повною заборонаю та абсолютною лояльністю до віртуальних валют змінилися у більшості країн на помірковані під-

ходи — створюються комісії та бюро для вивчення ситуації та підготовки відповідних законодавчих актів. У контексті очікування світової фінансової системи перших країн, що починають законодавче регулювання крипто-сфери, доцільно розглянути переваги й недоліки національних крипто-валют, які дають змогу сформувати зважену та узгоджену позицію в аналізі феномена крипто-економіки та його інноваційного потенціалу в ІТ.

Переваги. Якщо порівнювати національні крипто-валюти зі звичайними грошима, то в них є дві основні переваги — зручність у використанні та високий рівень захищеності. Гроші не потрібно носити в звичайному гаманці або тримати на картках, які постійно перебувають під пильною увагою зловмисників усіх гатунків. Сучасні крипто-валюти добре захищені від зломів, кібератак і шахрайства. Навіть, якщо шахраєві вдасться отримувати чужі кошти, технологія того ж блокчейну дасть можливість швидко встановити зловмисника. Очевидно, що для створення національних крипто-валют використовуватимуться найкращі з існуючих технологій — наприклад, смарт-контракти *Ethereum* або 11-рівневий алгоритм хешування *Monero*.

Ще один незаперечний плюс національної крипто-валюти — миттєве проведення платежів. Британські експерти, які виступають за введення крипто-фунта, мають рацію, коли кажуть, що цифрова готівка дасть змогу кожному бажаючому за лічені секунди купити будь-який товар чи послугу, діапазон величезний — від кави до нерухомості. До цього необхідно додати зниження витрат на проведення транзакцій і відсутність банків-посередників, які також беруть комісію за свою роботу. Очевидно, що національна крипто-валюта дасть можливість здійснювати платежі, нараховувати заробітну плату і соціальні виплати швидко, безпечно та з найменшими витратами. У цьому контексті доволі привабливою є ідея мінімізації управлінських і транзакційних витрат, скорочення чиновницького апарату як у фінансовій сфері, так і в урядових структурах.

Є в національних крипто-валют переваги й порівняно зі звичайними монетами. Передусім, це прийняття цих технологій державними установами. Якщо національну крипто-валюту легалізують на рівні держави, то всі фінансові структури країни будуть зобов'язані її приймати. Тобто, крипто-валюта стане абсолютно законним платіжним засобом. Більш того, чимало експертів упевнені, що національна цифрова валюта — це засіб «цивілізованої втечі» від фіатних грошей, купівельну спроможність яких визначає тільки держава й лише в своїх інтересах. Однак у

виграші залишиться й сама держава, оскільки а) скорочуються витрати на обслуговування банківського сектора і б) держава отримає повний контроль над валютними операціями громадян.

Звичайно, *національним крипто-валютам притаманні й недоліки*. Якщо порівнювати національну валюту зі звичайними альт-коїнами, перша програє відразу за кількома пунктами:

- вона повністю контролюється державою;
- вона втрачає анонімність;
- її введення може бути доручене некомпетентним органам/установам.

Якщо звичайні крипто-валюти створюються досвідченими програмістами, то за прийняття ключових рішень у контексті розроблення національних цифрових валют відповідатимуть держслужбовці, які найчастіше не мають ані належного досвіду, ані теоретичних знань з цього питання. Не дивно, що той самий Китай, який оголосив про створення крипто-юаня ще два роки тому, досі не може завершити цю справу. Але головний недолік національних крипто-валют полягає в тому, що вони ніколи не стануть міжнародним платіжним засобом, як той же біткоїн або ефіріум. Використовуючи технічні можливості блокчейну й характеристики національної валюти, можна створити зручну та безпечну монету для здійснення платежів усередині країни, але не більше — ця думка висловлюється експертами доволі часто.

Майбутнє національних крипто-валют не є безхмарним, але більшість фахівців запевняє, що майбутнє, безумовно, є. Так чи інакше, на тлі масштабних криз останнього десятиліття широкою підтримкою користується думка про те, що стара модель державної економіки потребує суттєвої перебудови. І повсюдне використання крипто-валют може стати першим кроком на шляху до потрібних змін. Утім, варто звернути увагу й на альтернативні підходи. Зокрема, нерідко звучать слова про те, що за активної участі держави крипто-валюта перетвориться на черговий варіант електронних грошей на кшталт *WebMoney* або *EasyPay*. Адже національна монета фактично втрачає усі основні характеристики крипто-валюти: децентралізацію, анонімність і відмову від контролю з боку держави.

Згідно з іншим поглядом, національна криптовалюта — це не вид, а альтернатива звичайної крипто-валюти. Анонімною вона бути не може, адже це суперечить законодавству більшості країн. Однак вона надійніша й краще захищена, ніж звичайні гроші. Таким чином, національна крипто-валюта — це лише зручний для держави спосіб розвантажити банківську мережу та контролюва-

ти переміщення електронних засобів громадян. Проте більшість експертів сходяться на думці, що поява національних крипто-валют слід очікувати вже в найближчі два роки. Зрозуміло, інвесторів у цьому разі більше хвилюють не переваги національних крипто-валют для держав і громадян, а їх вплив безпосередньо на крипто-валютний ринок.

Наскільки реальним є можливості заробити на національних крипто-валютах. Відповідь, раніше негативна. Національним цифровим валютам до снаги вирішити певні фінансові проблеми держави, але конкурувати з біткоїном або іншими популярними крипто-валютами вони не зможуть. Адже їх вартість визначатиметься не попитом на крипто-валютному ринку, а волатильністю національної валюти. Практично всі заплановані національні крипто-валюти будуть прив'язані до офіційних грошових знаків. Тобто крипто-фунт коштуватиме стільки ж, скільки фунт стерлінга, а *J-Coin* — стільки ж, скільки японська ієна. Єдиним винятком може стати *El Petro*, яка буде прив'язана не до болівару (офіційної монети Венесуели), а до нафти. Однак, з огляду на складну економічну ситуацію Венесуели та зовнішньополітичний тиск на країну, інвестувати в її національну крипто-валюту зараз дуже ризиковано.

Сама ідея національних крипто-валют непогана, проте з погляду інвестиційної привабливості такі монети не мають практично жодної цінності. Фахівці запевняють, що їх поява не змінить ситуацію на крипто-валютному ринку. Вони є зручним платіжним засобом для держав, але ніяк не привабливим варіантом для заробітку. Тому інвестувати в них безглуздо — це все одно, що вкладатися в електронні гривні або рублі. Звісно, можна закуповувати цифрові гроші тих країн, валюта яких, зазвичай, зростає в ціні. Наприклад, можна очікувати, що громадяни СНД можуть вкладатися в крипто-долари. Однак поки що США не збираються випускати національну крипто-валюту. А якби й випустили, прибуток від закупівлі/продажу того ж долара не зрівняється із заробітком на коливаннях курсу біткоїну, ефіріуму або лайткоїну.

Що ж до топових крипто-валют, то їх вартість не має змінитися з появою національних цифрових валют. Багато трейдерів бояться, що випуск крипто-фунтів або крипто-крон призведе до відтоку капіталу з крипто-валютного ринку. Однак експерти запевняють, що цього не станеться.

В. Бутерін, автор *Ethereum*, неодноразово говорить про те, що розробникам звичайних крипто-валют та їх власникам не потрібно хвилюватися. Навіть, якщо держави зможуть запустити власні

цифрові валюти, користувачі не почнуть масово зливати свої заощадження в біткойни або ефіріуми, тим самим обвалюючи ринок. Очікується, що національні крипто-валюти будуть потрібні лише переважно для проведення внутрішньодержавних платежів. Для заробітку ж придатні найбільш анонімні й децентралізовані монети, вартість яких визначається попитом на крипто-валютному ринку. Тому думати про інвестування в національні крипто-валюти поки що немає сенсу. Але і переживати не варто — найближчими роками вони жодним чином не змінять розстановку сил на крипто-валютному ринку.

Порівняльна надійність і дохідність інвестування в ICO і IPO

За визначенням *ICO* (*Initial Coin Offering* перекладається як «первинне розміщення монет») отримали свою назву аналогічно *IPO* (*Initial Public Offering* — «первинне розміщення публічних акцій»). Це закономірно: *ICO* і *IPO* подібні. Для інвесторів обидві моделі на сьогодні є доволі перспективними. В якій з інвестиційних інструментів (*ICO* чи *IPO*) доцільно вкладатися з погляду прибутковості та безпеки? Однозначної відповіді немає, але інвестор сам повинен прийняти рішення, розібравшись в їх особливостях і відмінностях.

При порівняння *ICO* і *IPO* головна їх схожість полягає в тому, що в обох випадках виробники або розробники залучають кошти інвесторів для розвитку свого продукту. *ICO* передбачає залучення коштів за рахунок внутрішньої крипто-валюти — *токенів*. Організатор *ICO* продає *токени* інвесторам, а отримані гроші витрачає на реалізацію своїх ідей і розвиток проекту. Інвестори купують *токени* в очікуванні зростання їх ціни, яка підвищуватиметься в разі затребуваності проекту на крипто-ринку.

IPO проводять компанії, яким потрібні гроші, наприклад, на поліпшення продукту, розширення мережі тощо. У процесі *IPO* компанія виставляє на ринок акції. Інвестори, які бачать перспективи подальшого її розвитку, купують акції, а їх гроші витрачаються на згадані цілі. Акції приносять інвесторам прибуток: по-перше, у вигляді дивідендів, а по-друге, за рахунок зростання своєї ціни, якщо прибутковість та інші показники компанії підвищуються.

За сутністю *ICO* і *IPO* є доволі схожими.

- Обидві моделі є різновидом фандрейзингу — залучення коштів ззовні для розвитку проекту.

- Інвестором в обох випадках може стати стороння особа — незалежно від того, наскільки вона знайома з діяльністю компанії.

- І токени, і акції можуть бути спекулятивним інструментом на біржі.

- І токени, і акції інвестор може продати, повернувши свої гроші й отримавши прибуток, якщо вартість токена або акції на ринку зросла з моменту їх купівлі.

- Найбільшим попитом у інвесторів в обох випадках користуються проекти й компанії, що пропонують щось інноваційне або корисне для ринку.

Однак існують між цими моделями й *суттєві відмінності*. Назвемо їх.

- *Офіційна реєстрація*. Блокчейн-проект не є компанією, що приносить дохід, і не завжди є компанією взагалі. Доволі часто токен — це крипто-валюта ідеї, проекту, якому для старту ще довго працювати. *IPO* проводять офіційно зареєстровані компанії, які мають власний продукт.

- *Можливість розраховуватися*. *ICO* пропонують токени — валюту, за допомогою якої за сприятливого розвитку подій інвестор зможе розраховуватися. Так сталося, наприклад, з *Ethereum*, яка на початку свого існування являла собою токени *ICO*, а зараз наближається до повноцінного платіжного засобу. *IPO* пропонують тільки акції — цінні папери, якими розраховуватися не можна.

- *Права на участь в управлінні та на дивіденди*. Токени зазвичай не забезпечують можливості отримувати дивіденди, не дають власнику прав на прийняття рішень, наприклад, права голосу при визначенні подальших напрямів розвитку блокчейн-проекту. Власник придбаних у процесі *IPO* акцій купує їх часто заради отримання дивідендів — відсотків від доходу компанії. Він має ті самі права, що й інші акціонери, тобто може своїми рішеннями та голосом вплинути на розвиток компанії.

- *Правовий статус*. *ICO* не діє в рамках будь-яких правових норм. *IPO* регулюється законодавством тієї чи іншої держави.

- *Простота інвестування*. В *ICO* може вкластися хто завгодно. В *IPO* будь-хто невідомий «з вулиці» інвестувати не зможе: інвесторами зазвичай є венчурні фонди (організації, орієнтовані на підтримку перспективних проектів), сімейні фонди та інші суб'єкти зі значним капіталом.

- *Вартість*. Токени зазвичай дешевше, ніж акції. Доволі часто вони коштують менше долара, тоді як вартість акцій становить зазвичай кілька десятків доларів.

При цьому дві головні відмінності *ICO* від *IPO* полягають у прибутковості й безпеці цих інвестиційних моделей.

Наступне порівняння ICO і IPO за прибутковістю проектів, яке для успішних *ICO* вражає. Токени *Spectrecoin* за 14 місяців 2016–2017 років зросли на 325717 %. Ціна на токени *NEO* понад

два роки підвищилася на 397510 %. *Ethereum* з моменту проведення *ICO* продемонстрував зростання в 320560 %. Це не єдині приклади *ICO*, що показали надвисоку прибутковість у сотні й десятки тисяч відсотків. Навіть менш відомі крипто-валюти періодично приносять надприбуток: *Ark* трохи більше як за рік зріс майже на 55000 %, а валюти *Neblio* і *Populous* за 7–10 місяців принесли інвесторам більш як 14000 % прибутку.

Середня прибутковість *ICO* на рік, за статистикою, становить понад 1000 %, причому з урахуванням і «провальних» проєктів. З акціями традиційних компаній такі показники важко порівняти. Типовими успішними для інвесторів вважаються *IPO*, що приносять 20–40 % на рік. Дуже успішні, яких одиниці, можуть принести 60 % і навіть 70 %, але аж ніяк не тисячі. Нормою у світі *IPO* вважається повне повернення коштів інвесторами за 5 і більше років.

Наступне порівняння *ICO* і *IPO* щодо безпеки й гарантій, наведені вище астрономічні цифри не можуть не мати зворотної сторони, і полягає вона у безпеці. *IPO* за цим критерієм є значно надійнішими свого крипто-валютного аналога за рахунок кількох особливостей:

- *існування продукту*. У разі *ICO* інвестор не знає, у який проєкт він вкладається, й бачить тільки перспективи, обіцянки, в кращому випадку, заготовку продукту. Компанія, яка проводить *IPO*, зазвичай має не просто готовий продукт, а продукт оцінений і в багатьох випадках упізнаваний. Типовим прикладом подібних *IPO* є випуск акцій таких компанії, як *Ferrari* або *Dropbox*. Це впливає і на стійкість tokenів і акцій на ринку. Коли продукт вже існує, а компанія збирається покращити його або розширити мережу, його вартість або не змінюється, або змінюється пропорційно покращенням. Ціна акцій коливається залежно від того, як нововведення приймаються ринком, але в цілому ґрунтується на вартості продукту і компанії і є відносно стійкою. Коли продукт відсутній, на коливання ціни токена впливає що завгодно: будь-яка незначна новина, необережне слово розробника, його зникнення навіть на тиждень через хворобу. Падіння ціни на token важко передбачити.

- *Наявність гарантій*, якщо крипто-ринок не визнає токени і їх ціна падає відразу після *ICO*, максимум, що може зробити інвестор — це продати їх, поки ціна не впала до нуля. Шанси продати падаючі токени приблизно такі ж, як шанси продати акції, курс яких обрушився і явно прогнозує крах компанії, — вкрай низькі. Повернути вкладення інвестор з прийнятною ймовірністю не зможе. По-перше, тому, що в законодавстві немає відповідних

регламентів. По-друге, тому, що знайти організатора *ICO* набагато складніше, ніж власників офіційно зареєстрованої компанії.

В іншому випадку з *IPO*, якщо ж компанія, що представляє собою публічне акціонерне товариство, збанкрутує, акціонери матимуть право на її активи і зможуть спробувати їх відсудити. Правда, не завжди успішно, але таку можливість закон передбачає. У разі *IPO* існують обмеження щодо втрати інвестицій: вони повинні бути спрямовані на розвиток компанії. Купівля власником компанії на ці гроші особистого особняка буде вважатися розтратою — кримінально класифікованим діянням. У разі *ICO* таких обмежень немає.

- *Складність для шахрайства.* *ICO* надає чимало можливостей для афер. *IPO* за час свого існування досить відрегульовано, щоб ці можливості виключити. Мова у даному випадку йде про ту ж офіційну реєстрацію, яка у разі *ICO* хоч бажана і впливає на привабливість проекту, але не є обов'язковою. В разі проведення *IPO* відповідальна за це компанія, безумовно, повинна мати реєстрацію, ліцензію і т.п. Організатором *ICO* може виявитися неіснуюча з юридичної точки зору особа, оскільки скани паспортів підробити легше, ніж реально дійсний паспорт, а досить часто ніяких сканів документів немає взагалі.

Власники компаній, що проводять *IPO* зазвичай також можуть видавати себе за іншого, але, по-перше, можливостей таких значно менше, а по-друге, це карається, на відміну від повідомлення недостовірних даних при проведенні *ICO*. Переказ грошей у процесі *IPO* проводиться за участю легітимних фінансових структур, які можуть надати правоохоронцям доступ до рахунків, призупинити або заморозити їх тощо. У разі *ICO* організатор-шахрай може забезпечити повну анонімність завдяки можливостям крипто-валюти.

Порівняння моделей ICO і IPO завжди є відкритим питанням для інвестора. Вибір найкращої моделі — це інвестиційне рішення з урахуванням особистих уподобань, намірів і стартового капіталу інвестора. Звичайному інвестору *ICO* пасує більше, тому що інвестувати в нього простіше. Для вкладення в акції потрібно мати серйозні наміри й чималий капітал. *ICO* доступні для будь-якого обивателя; він може вкласти 10 або 100 доларів, скільки не шкода втратити. Для *IPO* такі суми є недостатніми.

Найцікавіше, що згадані 10 або 100 доларів можуть принести більший прибуток, ніж *IPO*. Понад те, це може відбутися швидше, ніж *IPO*-вкладник узагалі отримає якийсь відчутний прибуток. Основна проблема в тому, що перш ніж знайдеться токен з тисячним відсотковим прибутком, можна прогоріти не один і не десять разів. Крипто-ринок тільки розвивається, незалежної ана-

літики на ньому не вистачає, а тому *ICO*-інвестору доведеться самостійно оцінювати проект. Якщо інвестор не розбирається в крипто-валюті, не може з'ясувати хоча б мінімум про організаторів, то не зможе вкластися успішно. Водночас, бездумні вкладання в акції призводять до таких само результатів. Хороший аналітик, навіть початківець, здатний обирати надійні *IPO*, напевно зможе обрати й такі ж *ICO*.

Позасумнівом, *IPO* сьогодні — надійніша модель, тому обережні інвестори, які шукають надійність і респектабельність, обирають інвестування в звичайні акції. Але в найближчому майбутньому ситуація може змінитися. Уже з'являються рейтингові агентства, що оцінюють *ICO* (наприклад, *ICO Rating*). Поки що принцип їх оцінки є поверховим, хоча багато він запозичив з роботи аналітичних агентств, що оцінюють *IPO*, і є перспективним. Затребуваність *ICO* з високою ймовірністю приведе до того, що агентства розширюватимуть і поглиблюватимуть методи, оцінки стануть точніше і щонайменше дадуть змогу відсіяти шахрайські проекти, а щонайбільше дійсно зорієнтують потенційного інвестора.

Для захисту коштів *ICO*-інвесторів існує практика використання гаманців, заснованих на принципі *Multi-Sig*. Вони мають не один приватний ключ, а зазвичай три. У разі *ICO* один ключ зберігається в інвестора, другий — у організатора *ICO*, а третій — у довіреній особи, в ідеальному випадку — у юриста. Щоб відкрити гаманець, потрібно два ключі. Коли розробникам потрібні гроші для проекту, юрист надає можливість взяти з гаманця необхідну суму. Наступна сума береться після того, як попередня була успішно реалізована відповідно до заздалегідь озвученими намірами розробників. Якщо організатор *ICO* не надав звіту за видатками, адвокат не відкриває йому доступ до гаманця, а в разі провалу проекту або явного шахрайства гроші повертаються інвестору знову-таки за допомогою юриста. Є ймовірність того, що ця практика повсюдно поширюватиметься.

Оскільки крипто-валюти поступово починають визнавати, нехай й окремі держави, вочевидь, що з часом розроблятимуться й законопроекти, що регулюють *ICO*. До них напевно увійде й обов'язкове отримання ліцензії, і офіційна реєстрація, і багато іншого, що повинно убезпечити вкладення інвесторів. Сьогодні ж вкладникам за бажання інвестувати в *ICO* залишається покладатися на свій здоровий глузд. А тим, для кого надійність важливіше за високі прибутки, доцільно вкладатися у традиційні *IPO*-проекти.

Прибутковість *ICO*-інвестицій

Ажіотаж проектів *ICO*, який спостерігається на ринку інвестицій в останні місяці, зумовлений високими обсягами залучення

інноваційних капіталів разом з відносно низькою складністю проведення. Ймовірно, для стартаперів настала золота пора, коли поєднання цих факторів найоптимальніше. Водночас для інвесторів, які хочуть якнайшвидше окупити свої інвестиції в прибуткових *ICO*-проектах, це питання залишається відкритим.

Популярність ICO-проектів. У минулі роки проведення *ICO* було доволі простим процесом для тих, хто взагалі знав, що це таке, а обсяг коштів, які вдавалося залучити під час кампанії, також був найнижчим за незначним винятком. Пояснювалося це слабкою поінформованістю потенційних інвесторів про нове явище, а також їхньою обережністю щодо того, чи є інвестиції в *ICO* правильним рішенням загалом. Згодом зацікавлені інвестори зрозуміли сутність і перспективність *ICO*, побачили прибутковість окремих успішних з них і почали шукати такі само прибуткові проекти. Помилково або ні, вони масово понесли гроші стартаперам, а ті, своєю чергою, виявивши, що таким чином можна зібрати великі суми, почали організовувати *ICO* один за одним.

Ситуація сьогодні в глобальній економіці разом з реаліями становлення інформаційного суспільства в світі така, що необхідні суми, які нерідко обчислюються семизначними цифрами (у *доларах !!!*), стартаперам вдається залучити іноді за лічені секунди — у прямому сенсі. Прикладом є — проект браузера *Brave*, якому вдалося зібрати \$30 млн за 30 секунд (!!!). Є багато інших прикладів, коли мільйони доларів удавалося зібрати за 15 хвилин проведення *ICO*. Традиційні *IPO* і краудфандінг можуть лише позаздрити.

Слід визнати, що програють *ICO*-інвестуванню традиційні методи залучення коштів також у сенсі складності. Реєстрація компанії, оподаткування, надання гарантій інвесторам — усе це, мабуть, очікує *ICO* в майбутньому, принаймні, в окремих країнах, але сьогодні це необов'язковий компонент цієї кампанії.

Хоча у фінансовому відношенні проведення *ICO* останнім часом суттєво ускладнилось, але поки що кампанію може провести стартапер, який не має в активі великих захмарних сум. Зокрема, він може зібрати частину суми на пресейл, особливо, якщо в нього є напрацювання, які можна продемонструвати інвестору. Таким чином, зараз у сфері *ICO* саме той час, коли все відбувається відносно швидко, просто й без будь-якого регулювання, і стартапери активно цим користуються. Невипадково з'явилися десятки, якщо не сотні, платформ і майданчиків в Інтернеті для розкрутки стартапів на зразок *Кікстартер* або *Індігого*.

Ефективність ICO-проектів для інвесторів. У жовтні 2017 року венчурна компанія *Mangrove Capital Partners* провела дос-

лідження прибутковості *ICO*. Базою стали 204 завершених кампаній, причому до них увійшли й надприбуткові, і не дуже, і навіть ті, які принесли інвесторам збитки. Дослідження показало, що середня прибутковість усіх цих *ICO*, включаючи збиткові, становила 1320 %. Цього достатньо, щоб зрозуміти, що саме приваблює людей — це колосальний прибуток. Прибутковість деяких *ICO* становить десятки тисяч відсотків (*а, інколи, й сотні тисяч !!!*), і на тлі таких цифр навіть високі ризики, збитковість щонайменше чверті *ICO* (*а може й більше !!!*) і мінімальна ймовірність потрапити в дійсно успішний проект не зупиняють інвесторів. Мотиви багатьох висловлені в гаслі управлінської криптовалютної платформи *ICONOMI*, що пропонує «надприбуток, який був неможливий в умовах старої традиційної економіки».

У разі *IPO* навіть за великих сум інвестор може чекати прибутку роками. Для *ICO* можна впродовж кількох місяців отримати дохід, який перевищить дохід від *IPO* в десятки, якщо не сотні разів.

Привабливість ICO через низький поріг входження. Якщо в традиційні інвестиційні проекти вкладати 10\$ немає сенсу (а в багатьох випадках це й неможливо через вхідний бар'єр), то в *ICO* вкладення такої суми може бути цілком рентабельним, якщо токени коштують, припустимо, по 0,02\$ за одиницю. Можливість багаторазового прибутку покриває ризик втрати мізерної суми в 10 доларів. Частина інвесторів небезпідставно вважає, що схеми традиційної економіки в XXI столітті не працюють, і шукають альтернативи, найочевиднішою з яких зараз є крипто-економіка з її децентралізованою системою, і найприбутковіші *ICO*-проекти лише зміцнюють віру в те, що слідом за цими успішними прикладами обов'язково будуть інші — питання лише в тому, щоб їх знайти й саме в них інвестувати.

Найприбутковіші ICO-проекти. Щоб побачити причини популярності та прибутковості *ICO*, достатньо звернутися до тих кампаній, які більше за інших порадували своїх інвесторів.

• Одним з перших *найприбутковіших* проектів є *ICO Ethereum*, який відбувався у 2014 році, у той час один токен коштував 0,311\$ і прибутковість його, до прикладу, на 17-е грудня 2017 року, коли крипто-ринок був максимально «розігрітим» з ціною за монету 719,98\$, становила 231505 % (!!!), а на 1-е січня 2019 року — 33891 %, це фактично на дату з «холодним» крипто-ринком. Якщо повернутись у 2014 рік, то на той момент про Ефіріум знало вже доволі багато людей, але серйозних крипто-проектів реально не було, і не в останню чергу тому, що на той час не було уявлення, з чого взагалі починати розробку. Автори цієї крипто-

валюти відповіли на цей запит ринку, створивши платформу з базовим інструментарієм для блокчейн-розробників, який включав у себе мову програмування для створення окремих угод між учасниками блокчейну — смарт-контрактів. Поле діяльності, що надається *Ethereum*, було дуже великим: згодом на базі платформи з'явилися більш захищені крипто-валюти, і такі, що приховували сліди транзакцій і підвищували анонімність і ресурси, пов'язані з управлінням фінансами, тощо. Платформа з'явилася, коли в ній вже існувала потреба, але адекватних рішень не було, і це стало першою причиною зростання *Ethereum*. Згодом блокчейн-розробники повною мірою оцінили інструментарій, а творці *Ethereum* реальними справами підтвердили свою благонадійність, постійно доповнюючи й модернізуючи технологію.

- Наступною за прибутковістю для інвесторів серед *ICO* виявилася крипто-валюта *NEO*: у 2015 році під час проведення кампанії щодо залучення коштів токени коштували **0,032\$**, на грудень 2017 року ціна зросла до **57\$**, а прибутковість становила **180397 % (!!!)**, і вже згодом, на 1-е лютого 2019 року, — **21406 %** з ціною **6,85\$**. По суті, *NEO* є китайським варіантом Ефіріума — базою для створення крипто-валютних проєктів на основі смарт-контрактів. Китайські інвестори заохотили свою платформу фінансово, хоча не тільки вони брали участь в *ICO*, а подальший прибуток інвесторам принесла інформація про можливе визнання платформи в Китаї.

- Наступний проєкт *ICO Stratis*, *прибутковість* якого становила в грудні 2017 року **150584 % (!!!)**: коли ціна одного токена в ході *ICO* піднялась від **0,007\$** — до майже **11\$**, на сьогодні його прибутковість становить приблизно **10 muc. %**. Автори *Stratis* представили блокчейн, на базі якого компанії та приватні розробники можуть формувати власні ланцюжки блоків відповідно до своїх потреб. Також *Stratis* відкрили також свою консалтингову компанію, готову проконсультувати кожного клієнта щодо розробки необхідного йому блокчейна й допомогти зі створенням мереж розподілених транзакцій. *Stratis* — це один з тих не особливо гучних проєктів, у який на етапі *ICO* вклялися в основному інвестори, які розуміють технологічну цінність проєкту. Цікаво, що після цього трапився *pump & dump*, який знизив довіру до валюти, але завдяки існуючому продукту, реальній допомозі і реальним діям розробників *Stratis* відвоював довіру крипто-спільноти, і курс зріс самостійно.

- Ще один проєкт *Spectrecoin*, який свого часу коштував на момент проведення *ICO* у 2016 році **0,001\$**, приніс інвесторам

прибуток у розмірі **103628 %** завдяки своїй анонімності. Ця валюта перевершує навіть відому мережу *Tor* завдяки, власне, запровадженню специфічної криптографічної обробці цієї мережі. Це означає, що всі функції *Tor* у валюті *Spectrecoin* збережені, працює вона за тим самим принципом, але зверху «накладено» ще один принцип, який шифрує саму мережу *Tor* завдяки протоколу *obfsproxy* за допомогою останньої — четвертої — версії (*obfs4*). *Obfs4* характеризується власним умінням маскувати трафік таким чином, що він виглядає як набір випадкової інформації, ніяк між собою не пов'язаної, і фахівці-криптографи називають *obfs4* найефективнішим інструментом шифрування даних у віртуальному просторі на поточний момент навіть поза межами крипто-сфери. Спрощено, *Spectrecoin* обладнана двома потужними рівнями шифрування, не кажучи вже про додаткові можливості, що дає змогу обійти, наприклад, будь-які блокування у Китаї та інших країнах, що обмежують доступ до ресурсів мережі. Природно, що фахівців, які розбираються в криптології, ця валюта зацікавила набагато більше, ніж звичайних інвесторів. На жаль, через проблеми в лідера проекту *ICO* певний час виглядав для багатьох ненадійним, і тільки в останні місяці інвестори почали всерйоз придивлятися до валюти. Цілком можливо, що в майбутньому ті, хто повірив у *Spectrecoin* на етапі *ICO*, отримають значно більший прибуток.

- Наступний проект — *крипто-валюта Ark* з доволі високими показниками прибутковості — **58350 %**. У крипто-валюті *Ark*, яка на етапі проведення *ICO* у 2016 році коштувала **0,01\$**, на грудень 2017 року мала ціну **5,8\$**, зараз — прибутковість **3750 %** з ціною **0,375 %**. Вона відрізняється впровадженням технології *Delegated Proof of Stake (DPoS)*, яка, на думку багатьох крипто-аналітиків, у майбутньому виявиться більш ефективним засобом забезпечення децентралізації крипто-валют. *Ark* використовує також так звані смарт-мости, що дають змогу зв'язуватися з іншими блокчейнами й тим самим власник валюти за необхідності може частково використовувати технологію та функції інших блокчейнів.

- *Проект Populous* приніс на завершення 2017 року *ICO*-інвесторам прибуток в розмірі **16621 %** з ціною на етапі залучення коштів **0,278\$** і дозволяє торгувати рахунок-фактурами на основі крипто-валют. На сьогодні пара прибуток — ціна для *Populous* виглядає так: **424,46 % — 1,18\$**.

- *Проект Lisk* з показником прибутковості для *ICO*-інвесторів у **15367 %** на грудень 2017 року. Він також використовує *Delegated Proof of Stake (DPoS)*, а, крім того, може забезпечити

високу швидкість транзакцій навіть у разі множинних спам-атак завдяки технології сайдчейна. У загальних рисах, якщо в блокчейні інформація пишеться в основні блоки через брак інших місць запису, то в сайдчейні вона може писатися в сайд-блоки, не перевантажуючи основний блок.

- *Проект QTUM* (прибутковість для ICO-інвесторів — **9729 %** на грудень 2017 року) синтезував частину особливостей біткоїну зі смарт-контрактами Ефіріума, у результаті чого з'явилися так звані майстер-контракти, що забезпечують власникам валют більш повний контроль над своїми засобами.

Спільне для найприбутковіших ICO. Як це не дивно, сьогодні жодний з найприбутковіших для інвесторів ICO не залучав кошти на розвиток стартапу, які були б пов'язані з чимось абсолютно далеким від блокчейна — наприклад, зі звичайною торгівлею іграшками чи кухонним приладдям або чимось подібним. Усе це дає змогу зробити закономірний висновок про наявність певних схожих характеристик для прибуткових ICO-проектів.

- *По-перше*, усі вони пов'язані з блокчейном, причому на рівні розробки, а не просто використання технології. Так, будь-який стартапер, незалежно від сфери діяльності, може скористатися ICO, але зв'язок між прибутковістю ICO і тематикою стартапу простежується явно. У крипто-сфері зараз йде активне «будівництво», і в лідерах виявляються ті, хто розбирається в цьому архітектурному напрямі, максимум — ті, хто винаходить зручні інструменти, але не ті, хто, умовно кажучи, постачає будівельникам іграшки чи кухонне обладнання.

- *По-друге*, прибуткові стартапи не тільки пов'язані з блокчейном, а й пропонують якусь новацію у технологічному сенсі. Продовжуючи аналогію, попитом користуються будівельники, які здатні спроектувати і/або побудувати більш зручний та інноваційний будинок, ніж усі попередні, а не ті, які будують такий же самий, що вже побудований раніше. Нововведення може бути інновацією, а може бути просто цікавим і розумним поєднанням уже існуючих технологій. Але воно повинно бути принципове, інакше проект мало кого зможе зацікавити і навряд чи принесе достатній прибуток інвестору.

- *По-третє*, найбільш дохідними в підсумку виявляються ICO, які спочатку оцінюють свій токен невеликою сумою — найчастіше менше за долар. З 20 найбільш прибуткових ICO тільки в одному випадку токени продавалися більш як за *3 долари* (це *DigixDAO*), усі інші коштували до *0,6\$*. Відповідно, варто з обережністю ставитися до гучних заяв стартаперів про те, що рево-

люційний характер їхнього проекту виправдовує надвисоку вартість tokenів. За цими заявами може ховатися невпевненість у своїй здатності залучити велику кількість як великих, так і дрібних інвесторів, для кожного з яких є очевидною перспективність проекту. Не слід забувати про сьогоdnішній рівень проникнення Інтернету, який перебільшив уже 3 млрд (!!!) користувачів і велика кількість дрібних інвесторів, мотивація яких може бути пов'язана не тільки й не стільки з прибутковістю, скільки з іншими міркуваннями, можуть суттєво компенсувати брак солідних інвесторів в ICO-проектах.

Статистично є ще один параметр, яким потенційно можна керуватися при виборі прибуткових ICO, орієнтуючись на дохідні, — це платформа. Найбільшу дохідність порівняно з іншими демонструють ICO, які проводилися на своїх власних платформах. Якщо розглядати інші платформи, то найбільшу кількість прибуткових ICO базувалися на *Ethereum*, далі йдуть *Counterparty* і *Omni*. Показово також, що у проектів, які проводилися на основі доволі популярних *Waves* і *BitShares*, показники в середньому нижчі.

Однак це, скоріше, цікаві статистичні дані, оскільки, якщо розглядати кожен проект індивідуально, то практично кожна з десятка найпопулярніших платформ, має в активі прибуткові для інвесторів ICO, і цей об'єднуючий фактор є менш вагомим, ніж показник прибутковості порівняно з переліченими вище аргументами.

Доступність ICO-проектів

2017 рік ознаменувався справжнім вибухом на ринку ICO — понад 300 проектів зібрали майже 4 мільярди доларів інвестицій і здебільшого провалилися (!!!) на етапі реалізації. Багато хто очікував, що в 2018 році ринок піде на спад, але цього не сталося. За перші місяці 2018 року ICO-проекти вже принесли своїм організаторам понад 2 мільярди доларів, підсумкова статистика за весь рік ще не зібрана, але сума повинна бути значно перевищувати 4 мільярди. Однак з'ясувалось, що звичайним інвесторам потрапити в ICO, і особливо в кращі, стало дуже складно. Умови вкладення та входження в ICO-проекти (особливо, в найкращі з них!) і загалом майбутнє ICO-ринку є визначальними питаннями для оцінки перспектив IT-інновацій.

Бар'єри доступності кращих ICO. Практика ICO-інвестицій демонструє підвищення їх закритості. За статистикою, у першому кварталі 2018 року 84 % tokenів були розподілені в межах закритих пресейлів. Тільки 16 % ICO були проведені у відкритому

форматі, коли приєднатися до покупки tokenів міг кожен охочий. Багато стартаперів намагалися об'єднати закриті й публічні продажі, однак більшість tokenів продавали за закритими дверима. Деякі торги взагалі відмовилися від публічних ICO (як, наприклад, *Telegram*), чим викликали хайп у крипто-валютному співтоваристві.

Окремі організатори ICO і зовсім поставили під удар свою репутацію, просто відсторонивши приватних інвесторів з торгів. Узяти, наприклад, *Refereum* — одне з найпопулярніших ICO 2018 року. Розробники запропонували якісний продукт (платформу для розробки та просування відеоігор) і зібрали навколо нього тисячі звичайних інвесторів. Їм обіцяли винагороду за репости, залучення друзів, реєстрацію в тестовому додатку та покупку ігор через платформу. У результаті розробники зібрали близько 100 тисяч передплатників на своєму каналі в *Telegram* і раптом розіслали більшості учасників повідомлення про завершення продажу tokenів. Чимало інвесторів досі впевнені, що творці *Refereum* розкрутили свій проект за рахунок звичайних користувачів, а потім продали токени групі привілейованих учасників.

Є й інші приклади того, як звичайні інвестори не змогли пробитися в цікаві проекти. Приміром, після реєстрації в *ICO WePower* багато учасників отримали повідомлення про невдалу верифікацію у системі. Подія викликала резонанс, оскільки більшість інвесторів, які подали заявку на покупку tokenів, уже брали участь у багатьох ICO і з подібними проблемами ніколи не стикалися. У крипто-валютному співтоваристві з'явилися підозри, що звичайних інвесторів відсікають від ринку ICO. Їх підтвердили й самі розробники — вони почали ретельно обирати тих, хто може купити їх токени, і активно переходити на закриті продажі.

Причин закритості ICO, за якими розробники відмовляються від публічності, є кілька, а саме:

- *Державний контроль.* Деякі країни (наприклад, Китай і Південна Корея) вже напряду заборонили проведення ICO, а інші (США й Канада) ввели обмеження на їх проведення. Знайти країну, у якій можна розгорнути масштабну роботу над створенням і продажом tokenів, не так просто, тому розробникам довелося прийняти нові правила гри. Тепер вони платять податки за проведення ICO, подають інформацію про інвесторів і зібрані кошти, а ще намагаються зацікавити великих інвесторів, які могли б скористатися їхнім досвідом з метою впровадження їхніх розробок у реальному секторі економіки. Тому й відбувається закриття

пресейлів, на яких продають токени «правильним», тобто наперед відібраним інвесторам.

- *Надлишок заявок.* З огляду на зростаючу складність майнингу топових монет і низку обвалів на ринку, чимало інвесторів вхопилися за *ICO* як за єдину можливість заробити на крипто-валюті. У результаті цього розробники отримують занадто багато заявок на участь у продажі tokenів. Їм набагато зручніше провести закритий пресейл на 10 або навіть 100 осіб і швидко зібрати потрібну суму, ніж обробляти тисячі дрібних заявок від приватних інвесторів. Тим більше, що у відкритих проектах перевантажується мережа, у якій проводиться *ICO*. Особливого перевантаження зазначає *Ethereum*, на якому розгортається більшість краудсейлів.

- *Контроль над токенами.* Розподіляючи токени на відкритих продажах, розробники не можуть контролювати їх подальше поширення. Якщо приватні інвестори масово викидають токени на ринок після краудсейлів, їх вартість може різко знизитись. Набагато безпечніше працювати в закритому форматі з великими інвесторами й прописувати наперед усі деталі співпраці. Наприклад, інвестор купує велику партію tokenів і зобов'язується не продавати їх упродовж певного періоду.

- *Заборона реклами.* *Facebook*, *Yandex* і *Twitter* уже заборонили рекламу крипто-валют і *ICO*. Незабаром це збирається зробити й *Google*. Тобто, розробники й так втратили рекламні майданчики, через які залучали звичайних інвесторів. І сьогодні вони ще й переключаються на великих гравців, які використовують закриті канали зв'язку або взагалі домовляються про покупку tokenів оф-лайн.

На практиці дійсно розробники переорієнтовуються на великих інвесторів і відмовляються від подрібних вкладників. Але останні, як і раніше, шукають можливість брати участь в *ICO*. На щастя, шанси у них ще є. Один з них — це колективне інвестування, за якого різні дрібні інвестори об'єднуються для входу в проект, недоступний їм окремо. Для участі в *ICO* найчастіше збираються *інвестиційні пули*, за рахунок чого колективні інвестиції у найкращі *ICO* стають усе більш затребувані на інвестиційних ринках і тим самим підвищують їх привабливість.

- *Підвищення рейтингів ICO.* Крипто-валютні стартапи 2018–2019 років помітно відрізняються від проектів попередніх періодів. На думку експертів, вони більш технологічні та мають значно більше шансів перерости в повноцінний продукт, який затримається на ринку. Не дивно, що кількість бажаючих узяти участь

в *ICO* зростає в геометричній прогресії. Організатори топових краудсейлів отримують тисячі заявок на участь у торгах і доволі часто змушені навіть відмовляти бажаючим. Це дає їм змогу швидко реалізувати токени, але при цьому позбавляє багатьох інвесторів шансів узяти участь в *ICO*. Вони просто не встигають подати заявку — усі місця вже зайняті. Колективне інвестування вирішує цю проблему. Адміністратори пулів проводять моніторинг топових *ICO*, швидко формують заявки на участь і часто мають доступ до закритих продажів.

- *Зняття бюджетних обмежень для участі в ICO.* В умовах підвищеного ажіотажу й черги бажаючих узяти участь в *ICO* організатори можуть виставити практично будь-який поріг входження. Наприклад, участь у перших раундах пресейлу *ICO Telegram* починалася від 20 мільйонів доларів — суми, непідйомної для звичайного інвестора. За колективного інвестування вхідний поріг не такий важливий. Інвестор вкладає стільки грошей, скільки вважає за потрібне чи залежно від наявного інвестиційного бюджету.

- *Додаткові преференції для ICO.* Колективні інвестиції — це астрономічні суми грошей, які одночасно вливаються в касу *ICO*. Тому представники інвесторів (наприклад, адміністратори пулів) домагаються найвигідніших умов купівлі tokenів. Організатори *ICO* можуть зробити для них знижки або нарахувати бонусні монети після завершення краудсейлу, які суттєво розширюють коло потенційних учасників *ICO* та значно поліпшують умови входження в проект для рядових інвесторів.

- *Можливості усунення обмежень ICO.* В умовах, коли багато держав всерйоз взялися за регулювання крипто-валютного ринку, організатори *ICO* не можуть проводити торги на власний розсуд. Якщо вони потрапили під дію регуляторів, доводиться дотримуватися певних правил. Наприклад, США, Канада та багато європейських країн вимагають проведення KYC — процедури встановлення особи інвестора. Простіше кажучи, якщо ви хочете взяти участь в *ICO*, доведеться пройти верифікацію у системі й надати скани своїх документів. У більшості випадків знадобляться також виписка з банку (якщо інвестори збираються купувати токени за гроші, які зберігаються на рахунку) або інші платіжні дані (якщо передбачається переведення грошей з карток).

І проблема навіть не в тому, що інвестор може просто не захотіти надавати інформацію про себе. Велика ймовірність того, що він не пройде процедуру KYC. Справа в тому, що велика кількість *ICO* виставляють умови для участі в торгах, продиктовані держав-

ними регуляторами. І доволі часто ці умови стосуються громадянства й банківської історії інвесторів та інших додаткових вимог.

Наприклад, якщо *ICO* організовано в *США*, до нього можуть взагалі не допустити інвесторів, які проживають, наприклад, у *СНД* і не є клієнтами американських банків. Обійти такі обмеження можна лише за колективного інвестування, коли інвестор передає гроші в пул, а всіма організаційними питаннями займається його адміністрація. До речі, проходити *KYC* при цьому взагалі не потрібно. Адже пул бере участь в *ICO* як один колективний інвестор з єдиним розрахунковим рахунком.

- *Мінімізація ризиків інвестування в ICO.* Разом з правильно обраним пулом колективне інвестування стає не тільки більш вигідним, а й менш ризикованим способом участі в *ICO*. Інвестор не повинен самотійно шукати проекти та намагатися оцінити їх перспективність і надійність. Цим займаються адміністратори пулу, і якщо вони самікладають гроші в обраний проект, інвестиційні ризики знижуються до мінімуму.

Крім того, у разі невдачі втрати розподіляться між усіма учасниками пулу, пропорційно їх вкладенням. Тому потрапити в серйозний мінус при самотійному одноосібному пошуку та участі в *ICO* набагато простіше, ніж при колективному інвестуванні.

Тенденції розвитку ICO-ринку. На сьогодні функціонує вже близько 200 інвестиційних пулів для спільної участі в *ICO*. І далі їх кількість зростатиме. Адже щодня з'являється все більше осіб, які не змогли пробитися в цікавий проект, отримали незрозумілу відмову (як наприклад, у випадку з *Refereum* або *WePower*) і вирішили приєднатися до крипто-валютного пулу. Спочатку це може знизити ефективність колективного інвестування. Адже вже зараз багато інвесторів реєструються в усіх пулах, які тільки можуть знайти, навіть не вдаючись у деталі й не намагаючись оцінити надійність обраних майданчиків. Аналітики називають теперішній стан ринку бродінням. Інвестори бігають між пулами, намагаються встигнути приєднатися хоча б до якогось топового *ICO*, не встигають, розчаровуються або взагалі стають жертвами шахраїв.

На думку фахівців, упродовж 2019–2020 років ситуація повинна стабілізуватись. У найближчий час очікується поява серйозних технологічно обґрунтованих рейтингів і лістингів, у яких повинна бути зібрана основна інформація про діяльність інвестиційних пулів. Не виключено, що пули, яким вдалось пробитися в *ТОП*, стануть головними гравцями на ринку й будуть знімати вершки від участі у великих *ICO*.

З одного боку, це може вплинути на зниження рівня децентралізації ринку. А з іншого, дасть змогу широкому колу користувачів брати участь у топових проектах, а Інтернет-спільноті дасть якусь гарантію безпеки. Адже основна причина, через яку приватні інвестори побоюються вкладати в *ICO* та інші крипто-валютні проекти, — це небезпека втратити гроші. Але переваги від колективного інвестування можуть отримати не тільки звичайні інвестори. У виграші залишаться як посередники (які беруть за свої послуги відсоток від прибутку пулу), так і самі організатори *ICO* (які швидко отримують потрібні їм обсяги інвестицій).

При цьому виникає питання про майбутнє власне ринку *ICO*. Чи зможе він вижити в нових умовах? Незважаючи на актуальні проблеми (доволі часті провали, посилення державного контролю тощо), більшість експертів упевнені в позитивній відповіді. На їхню думку, ринок *ICO* ще тільки розвивається і зараз переходить у новий формат. Сформулюємо прогнози на 2019–2020 роки стосовно розвитку *ICO*-інвестицій.

- Лідерами мають високі шанси стати технологічні *ICO*, які націлені на створення вдосконалених крипто-валют і ринкових інструментів нової генерації (токенів 2.0, як їх іменує В. Бутерін).

- В умовах посилення уваги й державного регулювання та необхідності швидко акумулювати великі суми грошей на реалізацію поставлених завдань всі масштабні *ICO* орієнтуватимуться тільки на великих інвесторів, інвестиційні пули й венчурні фонди.

- Практика закритих *ICO* збільшуватиметься й надалі, до кінця року для публічних пресейлів популярних токенів може виникнути великий дефіцит або пропозиція може зникнути взагалі.

- Пересічні інвестори зможуть увійти в топові проекти переважно через колективне інвестування, зокрема через великі інвестиційні пули.

Література

1. *Now There Are Plans for 'e-Krona' in Cash-Shy Sweden* // <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-10-26/riksbank-to-develop-pilot-electronic-currency-amid-cash-decline>.

2. *ОАЕ дозволить компаніям залучати капітал за допомогою ICO* // <https://ukr.segodnya.ua/economics/kriptovalyuta/oe-razreshit-kompaniyam-privlekat-kapital-s-pomoshchyu-ico-1177914.html>.

3. *Індія може легалізувати криптовалюту* // <https://ukr.segodnya.ua/economics/kriptovalyuta/indiya-mozhet-legalizovat-kriptovalyuty-1201717.html>.

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ BIG DATA І DATA MINING ЯК ВАЖЛИВОЇ АНТИКРИЗОВОЇ СКЛАДОВОЇ РОЗРОБЛЕНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ ПОЛІТИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОГО БІЗНЕСУ

Світова логістика — одна з найбільших індустрій у світі, в яку входять перевезення наземним, повітряним і морським транспортом. Частка транспортного ринку в світовому ВВП становить близько 10 %, що в грошовому еквіваленті дорівнює близько 4 трильйонам доларів [1]. Галузь логістики — одна з тих, що розвиваються найшвидше. Експерти стверджують, що найближчим часом на активне зростання цього виду бізнесу впливатимуть ринки Китаю та Індії. Аналіз логістичного ринку допоміг визначити, що автомобільні вантажоперевезення — найпопулярніший вид логістики, який розвивається у європейських країнах. Не менш затребувані також авіаперевезення. Більш як 70 % усіх перевезень між Азією та Європою здійснюється літаками. Майже 90 % доставок товарів здійснюється за допомогою авіатранспорту. До 2030 року очікується активне зростання світового авіапарку, він налічуватиме близько 3 тисяч штук. Трохи меншу частку в світовому логістичному бізнесі становлять морські перевезення. Але за тоннажем вантажів вони перевершують авіа- і автоперевезення. Морським транспортом зазвичай транспортують вантажі й товари, які мають тривалий термін реалізації. Але світові економічні кризи миттєво, регулярно та несприятливо позначаються на всій галузі [2].

Аналіз сучасної міжнародної практики предметної області показує такі глобальні фактори, які справляють значний і постійний вплив на інформаційний менеджмент сучасної логістики 3PL [3]:

- надвеликий простір рішень і їх мультидисциплінарність (при прийнятті управлінських рішень у сфері міжнародної логістики зростає кількість різноформатних вхідних змінних, їх комбінацій і відповідних варіантів складених і невірноважених сценаріїв);
- поява та вдосконалення інноваційних ІТ-технологій (що, зокрема, передбачають тотальні можливості для реєстрації, передавання, зберігання, обробки та автоматизованого аналізу всіх логістичних даних, подій і станів);

– усеосяжна глобалізація, on-line конкуренція та ускладнення структури ринку міжнародних мультимодальних логістичних послуг призводять до появи нових і зростання впливу відомих чинників невизначеності та неповноти логістичних даних, збільшення «інформаційного шуму»;

– зростання динаміки флуктуацій суб'єктивних та об'єктивних факторів, збільшення частки аномалій у даних, зміна закономірностей їх взаємодії, значущості факторів у вже побудованих моделях (причому постає нагальна потреба не тільки автоматично реагувати на ці динаміки в режимі реального часу, а й автоматизувати верифікацію та перенавчання існуючих моделей);

– радикальне зростання потоків логістичних неструктурованих даних усіх типів від автономних пристроїв, сенсорів і датчиків.

У стратегії розвитку України транспортна галузь також відіграє одну з головних ролей, адже ефективно діюча система транспортних комунікацій є основою, без якої відновлення стійкого економічного зростання країни неможливе. Проте існуючий стан галузі в Україні однозначно можна характеризувати як системно кризовий, адже, ще починаючи з 2009 року в економіці спочатку намітилось скорочення обсягів виробництва та реалізації продукції, а згодом, у 2011–2012 рр. розпочався період стагнації. Однак уже наприкінці 2013 — на початку 2014 року під дією зокрема й зовнішніх факторів, розвинулася політико-парамілітарно-економічна системна криза, яка додатково поглибила кризу вітчизняної транспортної галузі.

Тому після драматичної девальвації гривні й фактичної зупинки важливих транспортних коридорів (Північ України — Крим, Захід і Центр — Донбас) чимало перевізників змушені були піти з ринку, оскільки не змогли обслуговувати свій лізинг і втратили всю ліквідність (через кризу неплатежів стандартної дебіторської заборгованості за річними контрактами 2013–2014 рр. і багаторазового підвищення ставок на короткострокові операційні овердрафти в 2014 році).

Незважаючи на викладені вище перепони, які мають значний і постійний вплив на управлінську діяльність у сфері міжнародної логістики, проведений аналіз і діагностика вітчизняної логістичної галузі за 2012–2013 рр. (наголосимо — період до гострої фази поточної кризи), показали [4], що системною проблемою для логістичного менеджменту вітчизняної мережевої компанії все ще залишалася відсутність цілісної формалізованої моделі управління логістичними бізнес-процесами і як наслідок — суб'єктивізм і інтуїтивне (ручне) управління. Як показує актуалізований аналіз

галузі 2018 року, — подібна практика триває. З огляду на це, можна деталізувати додаткові актуальні проблеми антикризового управління українських логістичних компаній:

- відсутність формалізованих описів логістичних бізнес-процесів і відповідних корпоративних стандартів (або відсутність автоматизації контролю їх виконання);

- «ручне» та епізодичне управління якістю логістичних послуг і лояльністю клієнтів;

- значний вплив на показники логістичної компанії некомпетентності/суб'єктивності/зловживань з боку операційного менеджменту;

- відсутність автоматизації та об'єктивності при прогнозуванні попиту на логістичні послуги, а отже, і зниження ефективності операційної діяльності;

- епізодичне та часткове використання всіх накопичених та/або доступних внутрішніх і зовнішніх даних (особливо потокових даних у режимі «реального часу»), слабкий або відсутній вплив результатів аналізу згаданих вище даних не тільки на операційному рівні, а й на рівні тактичного й стратегічного менеджменту.

Ураховуючи викладене, безумовним актуальним для вітчизняних транспортно-експедиційних компаній є завдання розроблення та конфігурування комплексної політики оптимізації логістичного бізнесу (з урахуванням національної, галузевої та кризової специфіки) як невід'ємної складової антикризових заходів.

З огляду на важливість оптимізації інформаційного менеджменту логістичної компанії, у рамках такої політики оптимізації, важливими інноваційними інструментами є технології Big Data та Data Mining, саме тому актуальним є завдання формування деталізованої методології їх гібридного та ефективного використання (з урахуванням національної, галузевої та кризової специфіки) в межах адаптивної логістичної інформаційної системи.

Хоча теоретичні дослідження антикризового управління достатньо змістовно викладено в роботах Вороніної О. С., Восенної К. І., Гавриленка Т. В., Ковальчука Н. О., Кравчука Л. С., Павлюка А. О., Прядуна Є. А., Фучеджи В. І., проте в них не приділено увагу всебічній оптимізації логістичного бізнесу (вибору та конфігуруванню відповідних інструментів та алгоритмів) як важливому антикризовому заходу.

Окремі аспекти використання технологій Data Mining або Big Data частково розкриті в працях Angela S. H. Lee, Borisov Arkady, Brandau Annegret, Chandrasekar P., Der-Horng Lee, Fauziah Abdul Rahman, Jurijs Tolujevs, Imran Nordin, Khaled Nassar, Martin Jeske,

Mohammad Ishak Desa, Moritz Grüner, Norhaidah Abu Haris, Paul Abraham, Puteri N. E. Nohuddin, Ranjit Jeba Thangaiiah P., Saravanan V., Shafaatunnur Hasan, Shin-Ting Jeng, Siti Mariyam Shamsuddin, Sudhir Kumar Barai, Weiß Frank, Wibowo Antoni, Zuraini Zainol, Zaharin Yusoff, Zenina Nadezda, проте в проаналізованих роботах не тільки не враховано вітчизняну специфіку логістичного ринку, не розкрито питання формування цілісної методології ефективного застосування таких технологій, а й не приділено увагу гібридному застосуванню цих технологій як важливого інструмента в рамках оптимізаційної антикризової політики для логістичної компанії.

Ураховуючи викладені вище результати аналізу кризового стану вітчизняного логістичного бізнесу, важливим і першочерговим завданням у рамках антикризових заходів є підвищення рентабельності вітчизняних логістичних компаній. У логістиці, як і в інших галузях, є три основні способи підвищити рентабельність бізнесу:

1) перший — зростання тарифів на послуги. Особливість галузі полягає в тому, що на ринку працює багато дрібних приватних перевізників, які погоджуються на низьку ціну, та й покупці рахують кожен копійку в умовах кризи;

2) другий спосіб — зниження витрат. Звичайно, таке скорочення можна обґрунтовано проводити тільки після всеосяжного аудиту, методика якого викладено в [5]. Проте в умовах високо конкурентного ринку, безпосереднє скорочення видатків без реорганізації бізнес-процесів може привести до зниження якості логістичних послуг і підвищення всіх типів ризиків логістичної діяльності;

З огляду на це, у рамках антикризової стратегії з урахуванням галузевої та вітчизняної специфіки варто приділити особливу увагу політиці управління якістю (TQM) та аналізу відповідних витрат. Зокрема, витрати на TQM поділяються на три типи [6]: витрати від втрати вантажу, штрафів за затримку тощо; витрати на здійснення оцінки та контролю якості; витрати на попередження та страхування. Причому висока якість сервісу не пропорційна високим витратам, адже ефективна політика TQM і вчасно виділені кошти на покриття витрат 2-го та 3-го типу, обов'язково значно скорочують перший тип витрат (які в разі настання можуть навіть призвести до банкрутства логістичної компанії).

3) третій спосіб підвищення рентабельності — системна оптимізація бізнесу. Причому цей прийом антикризового менеджменту має бути націлений на системну та скоординовану (адже всі ці напрями на всіх рівнях пов'язані між собою та справляють

взаємний синергетичний вплив) оптимізацію всіх функціональних складових на всіх виділених рівнях менеджменту логістичної чи транспортно-експедиційної компанії. Наприклад, приблизно 90 % часу обороту всі продукти матеріального виробництва перебувають на різних стадіях логістичних процесів, то навіть оптимізація окремого функціоналу може зменшити логістичні операційні витрати щонайменше на 10–40 %.

Викладемо результати досліджень щодо компонентного складу та інструментарію завдання оптимізації логістичного бізнесу:

1) оптимізація та автоматизація політики управління запасами (формування та підтримка такої величини складських запасів у розрізі різних складів, що дасть змогу забезпечити безперерйне постачання асортименту за мінімальних витрат).

Уздовж логістичного ланцюга постачань запаси набувають форму: сировини, напівфабрикатів, незавершеного виробництва та готової продукції. Зниження навіть на кілька пунктів витрат на логістику запасів на початку логістичної мережі може зрештою в рази збільшити рентабельність по завершенні ланцюжка постачань [7]. Крім того, оптимальний рівень запасів повинен запобігати ситуації нестачі сировини, зберегти безперервність виробничого процесу та швидко задовольняти потреби клієнтів. Таким чином, досягнення оптимального рівня запасів — найважливіше завдання менеджменту логістичних ланцюгів, особливо у описаних вище вітчизняних галузевих умовах.

Завдання оптимізації запасів, своєю чергою, поділяється на три підзавдання:

- оптимізація обсягів (розрахунок оптимального страхового запасу з урахуванням прогнозів коливання попиту, заданих термінів поставки, транспортних, складських й інших обмежень, що дасть змогу зменшити витрати на зберігання та транспортування);

- оптимізація асортименту (формування оптимального товарного асортименту за допомогою обґрунтованого вибору умов постачальників і товарів, що закуповуються в розрізі продуктових груп, з урахуванням вартості зберігання та доставки на склад, заявлених термінів зберігання товарів, наявності товарів-замінників, характеристик складських приміщень, що загалом забезпечує зменшення надлишкової кількості неліквідних товарів).

Для вирішення завдання оптимального асортименту пропонується використання такого алгоритму Data Mining, як пошук асоціативних правил, за допомогою якого можна не тільки виявляти потенційні додаткові потреби замовників і пропонувати на їх основі нові товари й послуги (оптимізувати асортимент), а

й оптимізувати розміщення товару за рахунок аналізу придбаних разом товарів, мінімізувавши тим самим внутрішньо складські переміщення;

– оптимізація місць розміщення запасів (складів) (з урахуванням можливих штрафів за прострочення постачання або неоплату замовнику).

Крім того, після формалізації та розгортання у логістичній інформаційній системі отриманих у ході ДМ об'єктивних і верифікованих закономірностей, стає можливим реалізувати автоматизацію формування автозамовлення та календаря закупівель, що автоматизує та/або верифікує рутинні дії менеджера з прогнозування та планування, що, своєю чергою, зменшує імовірність помилок і корупційних ризиків;

2) оптимізація маршрутів і розкладу (оптимізація часу, довжини та вартості маршрутів, аналіз та оптимізація багатомодальних ланцюжків поставки, оптимізація замовлень для одно- або двохетапного крос-докінгу тощо). Слід зазначити, що для підвищення ефективності оптимізації складних маршрутів (наприклад, багатомодальних з наскрізним складуванням), варто розрізняти такі можливі обмеження:

- маршрутизація за умови необхідності багатьох зупинок;
- маршрутизація за умови наявності часового вікна;
- маршрутизація з урахуванням обмежень за вагою;
- маршрутизація з урахуванням установлених обмежень за термінами доставки.

Декомпозиція викладених вище обмежень має бути врахована при виборі методу вирішення транспортного завдання;

3) оптимізація фінансів. Окремо слід зазначити, що перед початком розрлення заходів щодо оптимізації фінансів логістичної компанії обов'язково треба проводити фінансовий аналіз за запропонованою методикою [5].

Оптимізацію фінансової сфери логістичної компанії (з урахуванням результатів попередньо проведеного фінансового аналізу та аудиту) варто починати з побудови моделі, в якій досягається мінімізація операційних і накладних витрат на транспортування, зберігання та штрафні санкції. Однак ця модель має враховувати вплив таких атрибутів та обмежень:

- повне або недостатнє завантаження транспорту;
- дефіцит попиту;
- чистий попит;
- фактично доступний асортимент;
- нестача запасів;

- обсяги постачання;
- вартість штрафних санкцій за затримку відвантаження, раннє відвантаження та використання аварійних запасів;
- транзитне постачання;
- кількість рейсів;
- порушення лімітів складу на обсяги та тривалість зберігання;
- кількість поставок продукту;
- кількість транспортних засобів;
- вартість перенесення запасів між складами.

Це неповний перелік атрибутів для фінансової моделі, адже для кожної логістичної компанії після аудиту та проведення статистичного аналізу, OLAP та DM повинні бути додані інші атрибути, що враховують специфіку конкретної компанії, регіональну та загальнодержавну специфіку.

Зокрема, пропонується для вирішення цього комплексу завдань, використовувати в конкурентному режимі інструменти логістичної регресії та еволюційного моделювання (наприклад, алгоритм FL);

4) оптимізація основних фондів — завантаження та раціональне використання наявних і залучених на умовах аутсорсингу ресурсів;

5) оптимізація кадрів — раціональне використання кадрового складу, відповідність виконуваних функцій рівню підготовки та кваліфікації працівників;

6) оптимізація та підвищення якості бізнес-процесів;

7) оптимізація ризиків (ризики логістичних систем та їх моделювання розглянуті в [4]) залежить від багатьох внутрішніх і зовнішніх факторів: цінова кон'юнктура й зміна попиту, діяльність конкурентних організацій, стихійні лиха тощо. Для вирішення цього завдання пропонується сценарне використання в режимі DM інструментарію дерев рішень і нейронних мереж);

8) оптимізація інформаційних ресурсів — вірність, точність, ефективність, своєчасність, результативність та інтерпретованість результатів обробки та аналізу даних. Для вирішення цього етапу оптимізації нижче викладено результати розробленої комплексної методики ефективного використання технології Data Mining для вітчизняних логістичних компаній;

9) оптимізація та отримання додаткової доданої вартості від накопичених корпоративних даних, нематеріальних активів і знань [8]. Нижче викладено результати розробленої комплексної методики ефективного використання технології Big Data для вітчизняних логістичних компаній.

Слід зазначити, що пропонується виконувати 8-й і 9-й етапи скоординовано, що зумовлено характеристиками та особливостями застосування технологій Big Data та Data Mining (розкриті нижче).

Викладене вище дев'ятикомпонентне завдання оптимізації логістичного бізнесу є складним, доволі тривалим, потребує значних експертних ресурсів. Тому пропонується покрокова проектна реалізація поставленого вище завдання в порядку, що відповідає нумерації (за винятком 8-го та 9-го етапів).

Зрозуміло, що всі зазначені вище дев'ять напрямів оптимізації інтегровано впливають на рентабельність конкретного логістичного бізнесу. Зрозуміло, що модель рентабельності бізнесу необхідно періодично верифікувати та адаптувати не тільки через кардинальні зміни макроекономічних умов, наприклад після комплексних кризових явищ 2013–2014 рр., а й через результати виконання зазначених оптимізаційних кроків.

Далі, урахувуючи поставлені цілі цього підрозділу, буде приділено увагу результатам, що стосуються 8-го та 9-го кроків викладеної вище комплексної політики оптимізації логістичного вітчизняного бізнесу.

Отже, на підставі накопиченого досвіду, можна стверджувати, що використання традиційних для практики транспортної галузі інформаційних технологій (OLAP, статистичний аналіз) для проведення кардинальної та всеосяжної оптимізації багатофакторної моделі рентабельності недостатньо в умовах антикризового управління, особливо з урахуванням вітчизняної специфіки. Зокрема, результати корпоративних досліджень і випробувань показують, що помилка передбачення в задачах прогнозування попиту користувачів за допомогою традиційних статистичних підходів може досягати 60 % [9].

Саме тому пропонується гібридне використання технологій Big Data та Data Mining у рамках проектування адаптивної логістичної інформаційної системи для вітчизняного бізнесу.

Далі буде викладено результати досліджень щодо ефективного застосування технології Big Data як ключового чинника ефективного виконання 8-го та 9-го кроків викладеної вище комплексної політики оптимізації логістичного вітчизняного бізнесу.

Особливо цей чинник важливий для логістичних компаній, які вже запровадили автоматизовані системи реєстрації подій і станів у рамках логістичних ланцюжків [10]: сучасні технології автоматичної ідентифікації та реєстрації, програмно-апаратні комплекси управління та координування складського обладнання, засоби

контролю за переміщенням транспортних засобів і трекінгу поштових відправлень, потокові дані з різноманітних сенсорів вологості, тиску, температури, швидкості тощо [11]. Такі системи реєструють у режимі 24/7/365 і зберігають величезні обсяги різноманітної інформації (кількісної, якісної, текстової, мультимедійної тощо) щодо подій у різних аспектах логістичної діяльності (наприклад, логістичні процеси в електронній комерції BtC) [12]. Причому швидкість і деталізація таких потоків зростають. Зокрема, опитування європейських компаній показало, що майже половина з них очікують щорічного зростання потоків своїх даних на 25 % [13].

Особливо в часи кризи відбувається, багато непередбачуваних порушень у ланцюгах поставок наприклад, транспортні затори, нещасні випадки, людські помилки, стихійні лиха, шахрайства та корупційні дії. У зв'язку з цим, 3PL-компанії повинні контролювати свої процеси в реальному часі, щоб не тільки пост-фактум реакція на критичну ситуацію була якомога швидшою, а й щоб передбачити настання таких подій і заздалегідь вжити застережних заходів.

Знову ж таки, сподіватися, що результати застосування класичних методів і технологій оброблення цих накопичених даних (тим більше, якщо в логістиці актуальною є потреба аналізувати не просто набір факторів, а й їх різні комбінації з урахуванням можливого впливу суб'єктивного людського фактора) кардинально змінять поточні тренди підприємства (особливо в такій високо-конкурентній і малорентабельній галузі, як логістика) — марно. Це підтверджується результатами вивчення поточних і планових інвестицій у логістичній сфері. Більш як 60 % респондентів 3PL планують інвестувати в сферу Big Data в найближчі п'ять років [14].

Проведені дослідження показали, що впровадження технології Big Data в рамках реорганізації антикризової бізнес-стратегії логістичної компанії може стосуватися трьох напрямів (причому така таксономія зовсім не означає, що треба обмежуватись одним напрямом):

1) підвищення операційної ефективності (оптимізація операційної діяльності логістичної компанії). Цей напрям використання технологій Big Data дає першим результати після впровадження автоматизованої on-інтелектуальної обробки в режимі on-line всіх доступних потоків даних.

1.1) Своєю чергою, цей напрям має кілька застосувань. Зокрема, пропонується новий підхід до організації вирішення транспо-

ртної задачі щодо кожного конкретного транспортного засобу, який передбачає в режимі 24/7/365 скоординовану динамічну оптимізацію послідовності пунктів призначення та маршруту певного транспортного засобу з урахуванням поточних даних щодо дорожнього трафіку, статусу клієнтів, стану оточуючого середовища, потоків даних від доступних сенсорів і датчиків.

1.2) Ефективним є використання технологій Big Data і для прогнозування та планування логістичних потужностей (кількості та обсягу складів, розподільчих центрів, кількості транспортних засобів та їх типу тощо) як на стратегічному рівні управління, так і на операційному. На стратегічному рівні така оптимізація підвищує ефективність інвестицій у логістичну інфраструктуру з урахуванням не тільки накопичених історичних часових рядів щодо напрямів та обсягів вантажопотоків, а й з урахуванням регіональних і галузевих прогнозів, водночас забезпечуючи більш оперативну реакцію на незадіяні логістичні потужності через механізми динамічного ціноутворення та/або спотового ринку логістичних потужностей.

1.3) Зрозуміло, що й на операційному рівні, застосування технологій Big Data є ефективним для динамічного планування логістичних потужностей у режимі 24/7/365. Класичний підхід до такого планування (потужностей для зберігання та перевезення вантажів, необхідної кількості задіяного персоналу тощо) передбачав вивчення історичних часових рядів і ґрунтувався на суб'єктивному досвіді менеджера-логіста. Однак лише використання технології Big Data (з використанням потокових даних від усіх доступних сенсорів і датчиків, що встановлені як на транспортних засобах, так і в складській і перевалочній інфраструктурі) у поєднанні з алгоритмами Data Mining дадуть змогу будувати та використовувати прогностичні моделі для ефективного та адаптивного оперативного масштабування логістичних потужностей, причому з урахуванням впливу виявлених ad-hock обмежень (стихійні погодні явища, громадянські протести, регіональні та галузеві економічні кризи, санкції та інші форс-мажорні явища);

2) підвищення ефективності CRM, що виявляється в кількох функціоналах.

2.1) Зокрема, це моніторинг та утримання лояльності споживачів — застосування Data Mining для інтегрованого аналізу всіх доступних внутрішніх і зовнішніх, структурованих і неструктурованих даних (детальні операційні дані щодо якості роботи самої логістичної компанії, доступні дані конкурентів, галузеві та регіональні показники, дані соціальних мереж і рейтингових та

інформаційних агентств, біржові зведення та катування, інформація з форумів та електронних дошок оголошень тощо) з метою виявлення клієнтів, які знижують рівень лояльності до постачальника логістичних послуг і вжиття маркетингових проактивних контрзаходів.

2.2) Варто також зазначити важливість використання технології Big Data в моніторинзі в режимі 24/7/365 щодо дотримання вимог TQM. Результати такого моніторингу після пошуку в них закономірностей методами Data Mining (text mining, multimedia mining, SNA, fraud detection) можуть бути використані для поліпшення політики CRM і TQM.

2.3) Моніторинг ризиків неперервності ланцюжків постачань у режимі Fraud Detection передбачає використання технології Big Data в моніторингу в режимі 24/7/365 з метою виміру та прогнозування ризиків затримок поставок, втрати або пошкодження вантажів, захоплення транспортних засобів або їх арешту з боку об'єктивних (природні явища, макроекономічні кризи, громадянські протести) і суб'єктивних факторів (судові позови, рейдерські захоплення, кримінальні дії) та якомога швидшому вжиттю проактивних контрзаходів.

2.4) Крім наведеного вище, слід зазначити такі функції використання технологій Big Data в сфері CRM, як більш докладна та детермінована сегментація клієнтської бази, автоматизоване налаштування персональних дисконтів;

3) новий центр генерування доданої вартості для логістичної компанії, тобто додатковий дохід від продажу третім особам, як зібраних деталізованих і просторово-прив'язаних big data, так і результатів їх обробки та аналізу (зазвичай з урахуванням законодавчих обмежень і можливих репутаційних збитків щодо порушення приватності персональних даних).

3.1) Зокрема, на замовлення маленьких і середніх торговельних компаній, використовуючи зібрані впродовж багатьох років своєї логістичної діяльності деталізовані, просторово-прив'язані багатоатрибутивні дані щодо поштових відправлень та інших вантажів, логістична компанія після відповідного DM може значно підвищити точність прогнозування попиту та продажів у торгівлі.

3.2) Крім того, фінансові аналітики, рейтингові агентства та консультативні компанії у банківській і страховій сферах часто потребують доступу до зібраних логістичною компанією деталізованих, просторово-прив'язаних багатоатрибутивних даних щодо логістичних ланцюгів, як з метою власного прогнозування, так і з метою верифікації наданих їм прогнозів щодо обсягів і

географії продажів і частки ринку акціонерних товариств, акцій/облігацій яких котируються на біржах.

3.3) Щодо електронної комерції, то важливим оптимізаційним завданням є верифікація адреси доставки, яку можуть чудово виконувати транспортні засоби логістичної компанії, які додатково обладнанні сенсорами, датчиками та трекерами. Цей функціонал особливо важливий у районах з невеликою концентрацією населення, що дає змогу оптимізувати витрати на логістику за допомогою оптимального геокодування для роздрібного, банківського та державного секторів економіки.

3.4) У сфері екологічного менеджменту логістичні компанії в кооперації з місцевою владою, обладнуючи свої транспортні засоби сукупністю різних типів датчиків забруднення повітря, температури, попелу, вологості, шуму, озону тощо, які прив'язані до даних геолокації, є привабливими для місцевої влади, органів МНС, місцевих девелоперів та органів екологічного моніторингу.

Далі буде викладено результати досліджень щодо ефективного застосування технології Data Mining як ключового чинника ефективного виконання 8-го та 9-го кроків наведеної вище комплексної політики оптимізації логістичного вітчизняного бізнесу.

Отже, крім зазначеного вже впливу Big Data, ще одним фактором, що ускладнює аналітику сучасних логістичних даних є те, що більшість логістичних даних, збережених у DBMS, а тим більше потокових, мають характер просторово-часових рядів [15], отже, актуальна потреба не тільки в класичному статистичному аналізі багатомірних часових рядів, а й у пошуку прихованих невідомих закономірностей і подальшій побудові прогнозних просторових моделей.

З урахуванням дослідженої вище специфіки предметної області, що розглядається, можна стверджувати, що класичного функціоналу регресійного, факторного, дисперсійного аналізу в сучасних кризових умовах для вітчизняних логістичних компаній недостатньо.

Адже для того, щоб сформулювати нові передумови для ухвалення ефективних управлінських (зокрема антикризових) рішень, потрібні нові, об'єктивні знання про приховані, зв'язки й закономірності досліджуваної предметної області. Відшукати та перевірити (зокрема в процесі класичного статистичного аналізу) актуальні факти та гіпотези в базі чи сховищі даних не так уже й складно, проте в сучасній конкурентній інформаційній економіці потрібні не просто факти, а нові, об'єктивні закономірності, верифіковані, інтерпретовані та формалізовані у відповідних моделях подання знань [8].

Основним джерелом таких нових об'єктивних управлінських шаблонів для логістичної компанії, яка діє на ризикованому, корупційному, конкурентному та кризовому вітчизняному ринку, може бути лише технологія інтелектуального аналізу даних [10].

Інтелектуальний аналіз даних (Data Mining) — це процес виявлення в первинних, накопичуваних у результаті оброблення бізнесових транзакцій даних, наперед невідомих чи прихованих закономірностей і шаблонів з метою прийняття бізнесових рішень.

Ураховуючи сказане, можна стверджувати, що в сучасних вітчизняних умовах тотальне впровадження адаптивної технології інтелектуального аналізу даних (що також має працювати в режимах *real-time* та *fraud-detection*) у рамках системної антикризової політики транспортно-експедиційної компанії мати своїм результатом комплексну додаткову оптимізацію логістичних бізнес-процесів, отримання додаткових конкурентних переваг, а отже, і підвищення інтегрованої стійкості компанії.

Дослідження наявного закордонного досвіду використання DM [16] в логістиці виявило дуже обмежену практику використання (з огляду на окреслені вище актуальні напрями оптимізації) для вирішення таких операційних завдань, як: менеджмент трафіку дорожнього руху, управління перевантаженнями та перекриттями дорожнього руху, моніторинг і менеджмент стану дорожнього покриття, моніторинг сонних водіїв і водіїв з ознаками сп'яніння, розслідування нещасних випадків і дорожньо-транспортних пригод, глибинний багатовимірний аналіз даних просторового геопозиціонування (зокрема й для уточнення електронних мап), моніторинг і розпізнавання даних мережі відеонагляду, моніторинг комплексу безпекових даних на залізниці, моніторинг стану та менеджмент сервісного обслуговування транспортних засобів.

Аналіз міжнародної практики вибору інструментарію DM у логістичній галузі показав обмеженість і відсутність сценарного підходу (гібридного застосування). Зокрема, опубліковані результати проектів DM у транспортній галузі [17] засвідчили використання послідовно інструментарію багатовимірної візуалізації, кластерного аналізу (неієрархічного), а опціонально — дерев рішень (у режимі класифікації) або правил асоціації. Додатково слід зазначити, що в переважній більшості реалізованих проектів DM було обрано продукційну модель знань для формалізації результатів, що має значні недоліки (широко описані в літературі) і не є універсальною. Рекомендовано при проектуванні та реінжинірингу логістичних інформаційних систем звернути увагу на

гібридне використання в корпоративній базі знань фреймової моделі (для вирішення управлінських завдань операційного менеджменту) і моделі на зразок семантичної мережі (для тактичного та стратегічного рівнів).

Ураховуючи наведені вище результати, можна стверджувати, що таке традиційне, не гібридне використання технології DM, що сконцентроване виключно на рівні окремих операційно-функціональних OLTP активностей, хоча й приносило певний позитивний ефект у стабільних умовах розвинутих країн до ери Big Data, але для вирішення поставлених вище завдань у кризових умовах транспортної галузі України є не достатнім. Це підтверджується й результатами досліджень європейських логістичних корпорацій [12].

Саме тому пропонується для поточних умов України (проаналізовані вище) використання алгоритмів DM і ML, та найкращі рішення будуть не тільки для факторингу окремих показників, чутливих до зовнішніх змін, а й для реалізації функціоналу динамічного ціноутворення. Слід зазначити, що першим кроком до формування такої складеної моделі є пошук моделі прогнозування собівартості логістичної послуги. Модель динамічного ціноутворення допоможе знайти баланс між конкурентними цінами й витратами, між попитом і пропозицією на вітчизняному хаотичному, неефективному, тіньовому та часто корупційному ринку логістичних послуг.

Ще одним важливим завданням застосування алгоритмів DM і ML є пошук закономірностей між накопиченою OLTP-інформацією у DBMS логістичної компанії та: профілями клієнтів, зовнішніми економічними макро- і регіональними індикаторами, сезонністю, даними про геолокації — це дасть змогу в результаті побудувати адаптивну модель прогнозу попиту (а отже, і запасів для його задоволення) для конкретної логістичної компанії, тобто в процесі накопичення даних про її використання та подальшого ітеративного перенавчання — модель підвищуватиме свою точність.

Першим і основним кроком для формування вказаних вище адаптивних моделей для конкретної логістичної компанії є прогнозування обсягу необхідних запасів у рамках ланцюжків постачань. При вирішенні цього прогнозного завдання, важливими факторами також є зниження витрат у логістичному ланцюжку та підвищення задоволення клієнтів. Ця традиційно є складним нелінійним завданням для менеджерів, особливо для компаній 3pl.

Незважаючи на величезну кількість досліджень у цій галузі, дотепер (особливо з урахуванням описаних особливостей вітчиз-

няного логістичного ринку) залишаються проблеми в сфері економіко-математичного прогнозування оптимальних запасів:

- існуючі багатофакторні високонелінійні моделі складно обчислювати та оптимізувати;

- є багато якісних і категоріальних показників, з якими важко оперувати класичними моделями прогнозування запасів (нижче подано рекомендації щодо цього);

- наявність умовно-постійних показників в історичній вибірці даних не сприяє самоадаптації, особливо після появи кризових явищ;

- інформація щодо ефективності практичного застосування наявних моделей управління запасами є непрямую, прихованою, а її збирання вимагає багато часу та має низьку результативність;

- класичні моделі управління запасами ігнорують вплив нечітких і невизначених факторів.

Ураховуючи наведені фундаментальні проблеми в сфері створення прогностичних моделей управління запасами та викладені вище вітчизняні галузеві та макроекономічні складнощі, пропонується використовувати вдосконалену штучну нейронну мережу зі зворотним поширенням помилки. Адже класична штучна нейронна мережа зі зворотнім розповсюдженням помилки має такі проблеми, як низька конвергенція, невелика швидкість навчання (хоча цей фактор не є визначальним з урахуванням розвитку багатопроекторності та паралельних обчислень), недостатня точність прогнозування (така нейромережа легко та швидко потрапляє у локальний мінімум під час навчання). Для вирішення першого та третього недоліків пропонується внести зміни в класичний алгоритм навчання нейромережі зі зворотним поширенням помилки: використовувати компенсацію похибки та модифіковану формулу обчислення ваг нейронів (докладно ці результати буде викладено в наступних публікаціях).

Побудова й використання (з періодичним перенавчанням) указаних моделей для конкретної транспортно-експедиційної компанії поліпшить оптимізацію та планування обсягів перевезень, складських запасів, маршрутів, тобто ефективніше розподіляти всі ресурси логістичної компанії, тим самим дасть змогу підвищити її інтегральну стійкість у кризових макроекономічних умовах.

Після побудови, використання та верифікації знайдених закономірностей у режимі fraud detection (після проведення DM для логістичних процесів як таких) важливим результатом буде також виявлення «вузьких місць» логістичної компанії (корупція,

шахрайство, безвідповідальність, недбалість, неефективність у компанії) у наявних бізнес-процесах, а отже, і можливість їх перебудувати.

Пропонується також приділити увагу оптимізації маркетингової політики логістичної компанії, зокрема оптимізувати політику забезпечення лояльності клієнтів, що буде додатковим антикризовим заходом в умовах високо конкурентного ринку транспортно-експедиційних послуг в Україні. Зокрема доцільно використати технологію DM у рамках реалізації Direct Marketing. Деталізуємо в функціонально-алгоритмічному розрізі запропоновані гібридні рішення: сегментацію клієнтської бази слід проводити паралельно за допомогою неієрархічного агрегативного кластерного аналізу та побудови карт Кохонена; вибір цільової аудиторії пропонується обґрунтовувати за допомогою візуалізаційних інструментів DM; при формуванні адресних пропозицій варто враховувати результати побудови правил асоціації; при аналізі відгуків клієнтів доцільно використати дерева рішень і правила класифікації; оцінку ефективності програми лояльності слід виконувати при гібридному використанні статистичного та RFM аналізів.

Зрозуміло, що весь спектр рекомендованого вище інструментарію DM має не повністю замінити, а органічно доповнювати класичні, але реорганізовані сервіси обробки OLTP та OLAP-інформації логістичної компанії, причому скоординовано між front- і back-office.

Окремо зауважимо, що отримані закономірності з метою формування корпоративних баз знань реальних логістичних компаній повинні також враховувати макроекономічну, регіональну та галузеву невизначеність українського логістичного ринку, отже, пропонується використати інструментарій нечітких продукційних правил для формування бази знань логістичної компанії (звісно, після верифікації результатів DM).

Для результативного DM за логістичними даними рекомендується провести категоризацію та кодування за атрибутами, які мають тип даних float) і за якими діапазон значень доволі великий (наприклад, вага вантажу, довжина маршруту тощо). Оскільки такі атрибути фактично мають дуже багато унікальних значень, то в результаті пошуку закономірностей (наприклад, правил асоціації) буде згенеровано чимало закономірностей, але з маленькою статистичною підтримкою. Отже, шкала вимірювання за обраним атрибутом ділиться на інтервали, у рамках яких усі фактичні значення атрибута зрівнюються для цілей DM. Тому

рекомендується використовувати для розбивки шкали результати неієрархічного кластерного аналізу.

Крім того, на підставі раніше викладених результатів досліджень макроекономічної, галузевої та темпорально-циклічної специфіки поточного стану предметної області рекомендовано використовувати стандарт DDDM-Knowledge AKD у проектах DM для вітчизняних логістичних компаній.

У межах дослідження методології впровадження технології DM у логістичні бізнес-процеси варто наголосити, що в галузі є очевидний брак стандартизації у сферах збирання та зберігання всіх типів функціональних даних щодо маршрутів, проектів і компаній. Тому існує нагальна потреба в розробці та затвердженні уніфікованої моделі даних для логістичних даних. Ця модель даних має бути організована у вигляді чотирьох взаємопов'язаних шарів: шару даних маршруту перевезення; шару даних логістичної компанії; шару даних замовника перевезень; шару регіональних і галузевих макроданих. Прийняття такої уніфікованої моделі логістичних даних сприятиме не тільки швидкому впровадженню алгоритмів машинного навчання та елементів AI в практику адаптивних логістичних інформаційних систем, а й підвищить їх точність та якість.

У рамках викладеної методології використання Data Mining в адаптивних логістичних інформаційних системах важливо враховувати обмеження на застосування на реальних потокових логістичних даних:

- необхідні експертні об'єктивні знання щодо обраної сфери логістики для оцінювання та інтерпретації результатів Data Mining;
- результати інтелектуального аналізу залежать від апіорних припущень, конфігурацій обраних методів Data Mining;
- складності з підготовкою до аналізу якісних (категоріальних), нечітких атрибутів;
- у рамках Data Mining немає загальновизнаного універсального підходу до вибору релевантних атрибутів (включення до алгоритму пошуку шаблонів великої кількості не релевантних атрибутів може викликати некогерентність результатів, а експертне суттєве обмеження кількості атрибутів перед пошуком закономірностей суперечить головним цілям Data Mining).

Доцільно також викласти результати дослідження щодо особливостей організації бізнес-процесів, які впливають на ефективну реорганізацію логістичної компанії в інтелектуалізовану / орієнтовану на знання компанію:

– у межах концептуальної фази кожного проекту Big Data та Data Mining необхідно розглядати питання захисту персональних даних та їх конфіденційності. Зокрема, особисті дані часто розкриваються у задачах пошуку нових потенційних клієнтів логістичної компанії. Варто зауважити, що не тільки законодавчі норми щодо приватності є обмеженнями (зокрема, з урахуванням угоди про асоціацію України з ЄС та обсягом зовнішньої торгівлі України з ЄС важливо брати до уваги EU General Data Protection Regulation), а й суспільна думка та суспільні дебати щодо порушень логістичною компанією приватності персональних даних інформації можуть спричинити катастрофічне падіння не тільки корпоративної репутації, капіталізації бренду, а й обсягу продажів і рентабельності;

– синхронізація та координація між бізнес- та IT-підрозділами логістичної компанії щодо планування, розроблення, реалізації та контролю впровадження взаємодоповнюючих концепцій Big Data та Data Mining;

– регулярні інвестиції не тільки в наймання високоосвіченого та досвідченого IT-персоналу, а й навчання та підвищення кваліфікації власного, щодо таксономії сценарного використання алгоритмів і методів ІАД. Адже для ефективного вирішення конкретної проблеми в певній логістичній компанії необхідно оптимальне та персоналізоване гібридно-сценарне застосування алгоритмів DM & Big Data;

– контроль та забезпечення верифікованості, якості, прозорості та ефективного управління даними, адже концепція Big Data передбачає інтелектуальний аналіз комбінації автономних потоків даних. Саме тому необхідно: локалізувати масиви даних і метаданих; для запобігання неоднозначності даних атрибути даних повинні бути чітко структурованими й визначені з верифікацією в кількох базах даних; деталізувати та посилити управління якістю Big Data, адже використання технологіями DM неповних, застарілих, дублюючих даних з автономних джерел з паралельним урахуванням тенденцій до збільшення їх швидкості, обсягу та форматів кардинально ускладнює процедури перевірки та налаштування;

– ефективне використання для виконання Data Mining інноваційних технологічних рішень Big Data з урахуванням їх недоліків та обмежень, зокрема розподілених і паралельних обчислень, In-Memory Data Grid.

Висновки й перспективи подальших досліджень.

На основі дослідження міжнародного досвіду 3PL-компаній, з урахуванням вітчизняної національної, галузевої специфіки та з поточної української політико-макроекономічної кризи викладено результати досліджень щодо розроблення та конфігурування комплексної політики оптимізації логістичного бізнесу (яка складається з 9-ти деталізованих етапів) як невід'ємної складової системних антикризових заходів.

Ураховуючи обрану спеціальність (Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці), у межах якої проводяться наукові дослідження, особливу увагу приділено оптимізації інформаційного менеджменту логістичної компанії (8-й і 9-й етапи в рамках згаданої політики оптимізації логістичного бізнесу) з використанням інноваційних технологій Big Data та Data Mining. Зокрема, досліджено практичний досвід у розрізі функціональних задач та алгоритмічного забезпечення використання технологій Big Data та Data Mining міжнародними логістичними компаніями, виокремлене проблемні питання та надано відповідні рекомендації вітчизняним логістичним компаніям.

Крім того, у рамках розробки комплексної методології гібридного застосування технологій Big Data та Data Mining (у межах адаптивної логістичної інформаційної системи) також викладено такі результати:

- обґрунтовано вибір і конфігурування моделі подання знань;
- конфігуровано сценарний підхід до використання рекомендованих алгоритмів Data Mining;
- запропоновано ефективні режими пошуку закономірностей;
- виконано формулювання та деталізація важливих адаптивних прогнозних економіко-математичних моделей (з урахуванням реалізації антикризової політики оптимізації) для логістичної компанії;
- з урахуванням результатів аналізу проблем у сфері економіко-математичного моделювання логістичної діяльності рекомендовано конфігурацію ефективного інструментарію для вирішення таких прогнозних моделей (BP нейромережа з компенсацією похибки та модифікованою формулою обрахунку ваг);
- на підставі результатів аналізу специфіки даних предметної області (зокрема потокових), надано рекомендації щодо модифікації шкал атрибутів типу float з метою підвищення якості результатів процесів Big Data та Data Mining;
- надано рекомендації щодо універсального формату метаданих для проєктів Big Data та Data Mining;

- обґрунтовано важливість зміни типового стандарту проєктів Data Mining CRISP-DM на DDDM-Knowledge AKD;
- викладено результати дослідження щодо особливостей організації бізнес-процесів, які впливають на ефективну реорганізацію логістичної компанії в інтелектуалізовану/орієнтовану на знання компанію.

Література

1. Мировая логистика: понятие, тенденции, статистика / ООО «АНРИК СПб» — [Електронний ресурс]. — режим доступу: http://anric.ru/news/mirovaya_logistika_ponyatie_tendencii_statistika.html
2. The development of the concept and set of practical measures of anti-crisis logistics management in the current ukraine conditions / Maxim Krasnyuk, Oleksandr Kustarovskiy — [Електронний ресурс]. — режим доступу: <http://www.kaweczynska.pl/wydawnictwo/zarzadzanie-teoria-i-praktyka/zarzadzanie-teoria-i-praktyka-numer-biezazy?download=5464:zarzadzanie-teoria-i-praktyka-management-theory-practice-4-18-2016>
3. Knowledge Discovery Database (KDD)-Data Mining Application in Transportation \ Fauziah Abdul Rahman, Mohammad Ishak Desa, Antoni Wibowo, Norhaidah Abu Haris — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://portalgaruda.org/portalgaruda/journals/index.php/EECSI/article/view/357>
4. Краснюк М. Т., Геращенко І. С., Кустаровський О. Д. Удосконалення економіко-математичного моделювання результатів впровадження окремих елементів адаптивної антикризової політики компаній транспортної галузі України // Науковий вісник Ужгородського університету. — Сер. «Економіка». Вип. 1 (51). — Ужгород. — 2018. — С. 205–211.
5. Краснюк М. Т., Кустаровський О. Д. Дослідження, адаптація методик та удосконалення моделей фінансового аналізу підприємств транспортної галузі в поточних кризових умовах України // Моделювання та інформ. системи в економіці: Зб. наук. Праць / Відп. ред. В. К. Галіцин. 2017. Вип. 93. — С. 175–195.
6. Data Mining Analytics to Minimize Logistics Cost \ Abraham Paul, V.Saravana, P. Ranjit Jeba Thangaiah — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/233857554_Data_Mining_Analytics_to_Minimize_Logistics_Cost
7. An Inventory Controlled Supply Chain Model Based on Improved BP Neural Network / Wei He — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.hindawi.com/journals/ddns/2013/537675/>

8. *Краснюк М. Т.* Проблеми застосування систем управління корпоративними знаннями та їх таксономія // Моделювання та інформаційні системи в економіці: Міжвід. наук. зб. — Вип. 73 / Відп. ред. В. К. Галицин. — К.: КНЕУ, 2006. — 256 с.

9. “Treffsichere Absatzprognose mit Predictive Analytics”, Michael Sinn, Conference Talk on “Big Data & Analytics Kongress”, Cologne, June 19, 2012; cf. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.youtube.com/watch?v=hAE2Mui5IRA>

10. *Краснюк М. Т., Кустаровський О. Д.* Проблеми та перспективи розвитку українських логістично-інформаційних систем в умовах глобалізованої економіки та макроекономічних кризових явищ // Інвестиції: практика та досвід (Index Copernicus, SIS, Google Scholar). — К.: травень 2017. — №10. — С. 34–39.

11. Modelling and analysis of logistical state data / Annegret Brandau, Jurijs Tolujevs — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/tjt.2013.14.issue-2/tjt-2013-0009/tjt-2013-0009.pdf>

12. Big data in logistics: A DHL perspective on how to move beyond the hype December 2013 / DHL — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.supplychain247.com/paper/big_data_in_logistics_a_dhl_perspective_on_how_to_move_beyond_the_hype

13. Big Data Survey Europe, BARC, February 2013, p. 17 / Carsten Bange — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://docplayer.net/1637014-Big-data-survey-europe.html>

14. Trends and Strategies in Logistics and Supply Chain Management”, p. 51, BVL International, 2013 / Robert Handfield, Frank Straube, Hans-Christian Pfohl, Andreas Wieland — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.bvl.de/en/dossiers/tus>

15. Transportation Data Mining Vision Challenges / Shashi Shekhar — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www-users.cs.umn.edu/~shekhar/talk/2011/2011_trb.pdf

16. A Review of KDD-Data Mining Framework and Its Application in Logistics and Transportation \ Fauziah Abdul Rahman, Mohammad Ishak Desa, Antoni Wibowo — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5967540/>

17. Applying data mining techniques for traffic incident analysis / Der-Hong Lee, Shin-Ting Jeng, P. Chandrasekar — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/303497161_Applying_data_mining_techniques_for_traffic_incident_analysis

**Устенко С. В., д.е.н., проф.,
Тішков Б. О., к.е.н., доц.,
Погореловська І. Д., к.е.н., доц.**

СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є

Інтенсивний розвиток наукових досліджень у багатьох галузях науки й техніки, де проводиться аналіз сигналів, а також широке впровадження мікропроцесорної техніки в практиці цифрової обробки інформації, стимулювали вдосконалення та використання цифрових методів і засобів обробки сигналів. Сигнал — це інформаційна функція, що несе повідомлення про фізичні властивості, стан або поведінку будь-якої фізичної системи, об'єкта або середовища, а метою обробки сигналів у загальному сенсі можна вважати отримання певних інформаційних відомостей, які відображені в цих сигналах (корисна або цільова інформація) і перетворення цих відомостей у форму, зручну для сприйняття та подальшого використання.

Цифрова обробка сигналів (ЦОС) (digital signal processing) — це галузь обчислювальної техніки, що динамічно розвивається та охоплює як технічні, так і програмні засоби [1–3, 19, 20]. Спорідненими галузями для цифрової обробки сигналів є теорія інформації, зокрема теорія оптимального прийому сигналів і теорія розпізнавання образів. При цьому в першому випадку основним завданням є виокремлення сигналу на тлі шумів і перешкод різної фізичної природи (придушення шумів), а в другому — автоматичне розпізнавання, обробка мови, зображень, тобто класифікація та ідентифікація сигналу.

Спектральний спосіб опису фізичних явищ тригонометричними функціями, які представляють собою ряди Фур'є, отримав загальне визнання. Цей опис, заснований на обчислюванні коефіцієнтів цих рядів, зазвичай називають перетворенням Фур'є (ПФ).

Створення швидких алгоритмів ПФ та інтенсивний розвиток комп'ютерної техніки, впровадження мікропроцесорів і спеціалізованих інтегральних елементів у технічній і соціально-побутовій сфері пришвидшили процес використання спектральної передачі сигналів на практиці. Виникають високопродуктивні комплекси та системи, що характеризуються широкими функціональними можливостями. Ці обчислювальні засоби здатні реалізовувати

складні процеси алгоритмічної обробки інформації, зокрема інтегральні перетворення, обчислення згортків, кореляційних залежностей тощо.

Такі системи фактично використовують спеціальне програмне забезпечення, призначене для вирішення науково-технічних задач автоматизації наукового експерименту, розробки та впровадження нових методів ЦОС, які необхідні для розширення сфери додатків спектрального аналізу. До складу таких систем, зазвичай, входять швидкодіючі спеціальні процесори аналізу сигналів, які називаються цифровими аналізаторами спектра, що можуть працювати в режимі реального часу.

Однак, які б широкі обчислювальні можливості не мали засоби спектрального аналізу та які б високошвидкісні алгоритми перетворення Фур'є не використовувались, у кінцевому підсумку важливо, щоб ці засоби володіли не тільки необхідними та достатніми вимогами для вирішення задач у системах цифрової обробки інформації, а й мали поліпшені інструментальні характеристики. До останніх передусім належать *частотна роздільність і точність визначення частот спектра сигналу*. Якщо під частотною роздільністю розуміти здатність аналізатора розрізнити хоча б дві близько розташованих спектральні складові, то точність визначення частоти визначатиме їх місце розташування в спектрі.

Поліпшення *інструментальних характеристик систем* аналізу сигналів можна досягти тільки збільшенням якості самого Фур'є-аналізу, оскільки це є визначним у цьому випадку. Зазначена мета може бути досягнута шляхом розробки нових перспективних алгоритмів обчислення ПФ.

Один з недоліків існуючих методів безпосереднього обчислення коефіцієнтів Фур'є, які використовують швидкі та економічні обчислювальні процедури, — рівномірна частотна шкала аналізу. Ця сталість ціни поділу шкали частот не дає змогу збільшувати точність визначення частоти спектральних складових сигналу й частотна роздільність без зміни цього поділу в меншу сторону, оскільки воно тягне за собою зазвичай збільшення обчислювальних затрат.

Вочевидь, альтернативою для отримання більш якісних оцінок спектра може бути нерівномірна частотна шкала, задана, наприклад, за *законом арккосинуса* або йому подібного. Згущена посередині аналізованого діапазону й розріджена по кінцях така шкала має властивості ноніуса, оскільки має нерівномірну шкалу поділу.

Комплексний підхід до вказаних вище показників зі збереженням прийнятної швидкості обчислень, а також відсутність досліджень і розробок у цьому напрямі ставлять актуальне завдання створення нових алгоритмів і структур, які використовують у своїй основі спектральний аналіз з *нерівномірними частотними шкалами*.

Основною метою роботи є розроблення й дослідження алгоритмічних і структурних принципів побудови засобів спектрального аналізу з поліпшеними характеристиками, яка може бути досягнута шляхом пошуку нових ефективних алгоритмів ПФ, розроблення принципів побудови структури систем і засобів спектрального аналізу з такими характеристиками.

1. Аналіз відомих методів цифрової обробки сигналів. Створення нових обчислювальних засобів, орієнтованих проблемно на спектральний аналіз, нерозривно пов'язане як з розвитком теорії, технології виробництва спеціальних класів великих інтегральних схем і мікропроцесорів, на основі яких можна створювати структури й спеціалізовані пристрої для обробки даних, що володіють великою швидкістю і високою точністю обробки, так і методів синтезу операторів обробки, обчислювальних методів, алгоритмів і програмних модулів, що їх реалізують [4–7].

Основою спектрального аналізу є розкладання сигналу в ряд по ортогональних базисних функціях. Найпоширеніше розкладання сигналу по експоненціальним базисним функціям. ПФ у найзагальнішому вигляді виражається парою інтегралів Фур'є, тобто:

$$A(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-j\omega t) dt, \quad (1)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} A(w) \exp(j\omega t) dw, \quad (2)$$

де інтегральний вираз (1) визначає перетворення тимчасової функції $x(t)$ у комплексний ряд $A(w)$, що містить складові з кутовими частотами $w = 2\pi f$, f — частота ГЦ, а вираз (2) відноситься до зворотного перетворення спектральних складових ряду в тимчасову область, тобто перетворення спектра у функцію часу.

Дискретні еквіваленти інтегральних виразів (1) і (2) можна записати у вигляді [3]:

$$A(k) = \sum_{n=1}^{N-1} x(n) \cdot \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} nk\right), \quad (3)$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} A(k) \cdot \exp\left(j \frac{2\pi}{N} nk\right), \quad (4)$$

Вирази (3) і (4) є математичною моделлю дискретного перетворення Фур'є. При цьому значення функції $A(k)$, будучи *коефіцієнтами* Фур'є, рівномірно розташовується на осі частот ω , відстань між якими дорівнює $\frac{2\pi}{N}$ рад.

Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) є базовим алгоритмом цифрової обробки сигналів у частотній області. Завдяки наявності ефективних алгоритмів його обчислення — алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) — ДПФ широко використовується для цілей цифрової фільтрації та спектрально-кореляційного аналізу сигналів [1]. Крім гармонічного ряду Фур'є, застосовуються й інші види розкладання сигналів: по функціях Уолша, Адамара, Вейвлета та інших, крім того, існують розкладання по поліномах Чебишева, Лаггера, Лежандра та ін. [1–5]. У ЦОС широко використовується дискретне перетворення Фур'є (ДПФ, discrete Fourier transform) і алгоритм його швидкого обчислення — (ШПФ).

Проаналізувавши наведені вище методи та алгоритми спектрального аналізу, можна зробити деякі висновки.

1. Нині розроблено багато швидких перетворень у базисі Фур'є. Основною метою та спрямованістю цього класу алгоритмів є збільшення швидкодії ПФ, що дає змогу зменшити кількість операцій, необхідних для обчислення коефіцієнтів перетворень порівняно з матричними дискретними перетвореннями вигляду ДПФ. Найбільш трудомісткими операціями в алгоритмах ДПФ, які потребують найбільших витрат часу, є операції множення.

2. Ефективним інструментом зменшення числа комплексних множень є алгоритм (ШПФ), число операцій у якому зменшується в $N \log N$ раз. Межею швидкодії алгоритму ШПФ є швидкодія швидких перетворень Уолша (ШПУ). Однак властивості їх настільки відрізняються, що взаємозамінювати їх майже неможливо [8]. До числа алгоритмів, заснованих на методах обчислення ШПФ, варто віднести алгоритми швидких дискретних ортогональних перетворень (ШДОП) [9, 10], прямокутних періодичних функцій (ППФ), квантованих дискретних перетворень (КДП) [10], Фур'є-подібні перетворення (ФПП) [8].

3. Клас обчислювальних алгоритмів ефективний у обчислювальному відношенні й забезпечує отримання «прийнятних» [11] результатів для більшого класу сигналів інформаційних управляючих систем.

Однак цьому класу алгоритмів властиві деякі недоліки, а саме:

- обмеження частотної роздільності, тобто здатності розрізняти спектральні лінії двох або більше сигналів, доволі близько розташованих між собою;

- зниження точності визначення частот спектра сигналу з огляду на його розмивання.

Ці недоліки можна поєднати таким чином.

Істинний амплітудний спектр сигналу може бути отриманим лише в ідеальному аналізаторі спектра з набором фільтрів без втрат, смуга пропуску яких дорівнює нулю, а час установлення — нескінченності [12]. Однак у реальних аналізаторах спектра важливу роль відіграє не тільки смуга пропуску фільтрів, а й частотна характеристика, яка не є прямокутною. Останнє призводить до того, що частотні характеристики фільтрів перетинаються, і кожна складова сигналу збуджує одразу кілька фільтрів, що призведе до появи складових спектра сигналу від сусідніх фільтрів. Відтак, чим вище прямокутність частотної характеристики фільтрів, тим слабкіше буде виявлятися дія сусідніх складових. Якщо ж частота сигналу потрапляє в точку перетину сусідніх частотних характеристик, то з'являться дві складові спектра, рознесені за частотою на інтервал, рівний різниці частот $\Delta f = f_{i+1} - f_i$, двох сусідніх фільтрів. У цьому разі виокремити частоту сигналу неможливо, оскільки не зрозуміло, присутній один сигнал чи два, а аналізатор зможе вирішити лише ті частоти сигналу, інтервал між якими $\Delta_f > \Delta f$.

Подібна ситуація справджується для сигналу, дві частоти якого розташовані близько один від одного. Якщо знову $\Delta_f < \Delta f$, то сигнали не будуть вирішені, а спектр нагадуватиме спектр сигналу однієї частоти, тоді коли частоти сигналів знаходяться в межах смуги пропуску одного фільтра, і спектр сигналу двох частот, якщо частоти сигналів будуть розташовуватися у центрі двох фільтрів.

У результаті аналізу з'явиться невизначеність оцінки спектра, і стверджувати з цілковитою впевненістю, що у спектрі є не одна, а дві складові, можна лише в тому разі, якщо максимальні частотні складові задовольняють рівність $\Delta_f \approx 2\Delta f$.

Водночас, відомо, що частотна здатність рівна величині, зворотній часовому інтервалу відліків N . Відтак, збільшивши N удвічі, можна досягнути поліпшення частотної роздільності також у два рази. Однак, просте збільшення числа N у 2 рази може не привести до поліпшення частотної роздільності, позаяк додаткові фільтри будуть розташовані знову рівномірно на осі частот. Крім того, реальні сигнали схильні до зрушень за частотою [13] (за теоремою зсуву будь-який зсув сигналу в часовій області адекватний зсуву сигналу в частотній області), що призведе до того, що частота сигналу розташується між двох частот фільтрів. У результаті, знову з'явиться зазначена вище невизначеність спектра, пов'язана з розмиванням частотних складових спектра сигналу. Отже, ПФ, незважаючи на можливість використання швидких алгоритмів, притаманний принциповий недолік — обмеження частотної роздільної здатності аналізу, пов'язане з невизначеністю оцінок спектра, коли частота сигналу не є кратною частотам базисних функцій [11, 22]. Другим обмеженням є неявна вагова обробка сигналу, яка призводить до витоку енергії головної пелюстки спектральної лінії в бокові пелюстки [11, 22]. При цьому з'являється необхідність зважування часових послідовностей за допомогою вікон, за яких досягається необхідне зменшення впливу бічних пелюсток окремих фільтрів, однак лише за рахунок зниження частотного розширення. Так, найпростіше прямокутне вікно обмежує за тривалістю сигнал, що призводить до ефекту розмивання спектральних складових і появи бічних пелюсток. Це зумовлено кінцевою тривалістю вагової функції, що є наслідком застосування «вікна». Це очевидно за рахунок того, що множення сигналу на прямокутне вікно в часовій області означає згортку спектра сигналу зі спектром вікна.

Структури аналізаторів спектра дають змогу змінювати алгоритми обчислень залежно від класу сигналів, характеристик перетворення, методів адаптації до вхідного сигналу. За своїми функціональними можливостями в класі вирішення задач цифрової обробки сигналів вони не поступаються універсальним комп'ютерним системам. Крім того, структурні рішення ефективні тоді, коли вони дають можливість змінювати параметри аналізу таким чином, що підвищуються точнісні характеристики вимірювання. До таких основних параметрів аналізу належать кількість частот, на яких бажано виміряти спектр, і роздільна здатність вимірювання спектральних складових. Суттєво також і те, що при спектральному аналізі практично в усіх існуючих аналізаторах є частотні піддіпазони, які необхідні для того, щоб мати

інформацію про сигнал у якійсь окремій частотній області. Таким чином, структура аналізатора спектра повинна містити перетворюваний вхідний ланцюг і той апаратний мінімум, який необхідний для вирішення вимірювальних задач того чи іншого класу.

Аналізатори спектра на сьогодні розроблені й засновані на алгоритмах перетворення Фур'є [1, 3]. З метою підвищення якості аналізу в такі аналізатори вводять додаткові перетворення, до числа яких можна віднести нерівномірне зважування вибірок сигналу, оцінку спектра після обчислення кожної чергової вибірки сигналу й вироблення коригуючого впливу на його розташування, обчислення спектра з додаванням нулів в аналізованій вибірці сигналу. Ці перетворення вимагають, по-перше, визначених апаратних витрат і, по-друге, є лише тим штучним прийомом, який дає змогу наблизити виміряні характеристики сигналів до реальних.

2. Основний зміст. Розглянуто метод обчислення коефіцієнтів Фур'є, що дає можливість застосовувати в аналізаторах спектра єдину без піддіапазонів шкалу частот і тим самим підвищувати такі інструментальні характеристики, як частотна роздільність і точність аналізу без істотних на це витрат [14, 15]. Розкриємо сутність методу.

Проведений у першому розділі аналіз алгоритмів обчислення коефіцієнтів Фур'є показав, що ПФ властива низка недоліків, усунення яких можливе, якщо використовувати нерівномірну частотну апроксимацію обвідної спектра Фур'є.

Розглянемо з цих позицій метод апроксимації інтегральних перетворень Фур'є, заснований на дискретному розкладанні ряду Фур'є і поліномів Чебишева I і II роду.

Для початку розглянемо формулу обчислення коефіцієнтів косинусного ряду Фур'є:

$$A_{\phi}(\kappa) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos \kappa x dx_1. \quad (5)$$

Проста заміна змінної x на $x = \arccos x_1$ у цій формулі дає вираз

$$A_{\phi}(\kappa) = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{f(\arccos x_1) \cos(\kappa \arccos x_1)}{\sqrt{1-x_1^2}} dx_1. \quad (6)$$

Через властивості визначеного інтеграла як межі сум при dx і dx_1 , що прямують до нуля, значення цих виразів рівні між собою.

Якщо перейти від інтегралів (5) і (6) до кінцевих сум відповідно

$$A_{\phi}(\kappa) = \frac{2}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2} f(n) \cos \frac{2\pi}{N} \kappa n; \quad (7)$$

$$A_{\phi}(\kappa) = \frac{2}{N} \sum_{n_1=-1}^1 \frac{f(\arccos n_1) T_{\kappa}(n_1)}{\sqrt{1-n_1^2}}, \quad (8)$$

де $T_{\kappa}(n_1) = \cos(\kappa \arccos n_1)$, то значення виразів (7) і (8) будуть відрізнятися залежно від кількості членів ряду й заданої точності обчислення незначно, тобто $A_{\phi}(\kappa) \approx A_{\phi 1}(\kappa)$.

Якщо ж відома обвідна косинусного ряду Фур'є, то очевидно, що, відновлюючи $f(x)$ за виразом (7), отримаємо значення цієї функції у точках, що рівні між собою за розміщенням, а за виразом (8) значення $f(x)$ будуть у точках $x = \arccos x_1$.

Аналогічні висновки можна отримати відповідно й для коефіцієнтів синусного ряду Фур'є і полінома Чебишева II роду.

Якщо потім перейти до комплексної форми ряду Фур'є, то отримаємо вирази виду:

$$A_{\phi}(\kappa) = \frac{2}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2} f(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} \kappa n}, \quad (9)$$

$$A_{\phi}(\kappa) = \frac{2}{N} \sum_{n_1=-1}^1 \frac{f(\arccos n_1)}{\sqrt{1-n_1^2}} e^{j \kappa \arccos n_1}. \quad (10)$$

Пара зворотних перетворень Фур'є в комплексній формі матиме вигляд:

$$f(n) = \frac{2}{N} \sum_{\kappa=0}^{N-1} A_{\phi}(\kappa) e^{j \frac{2\pi}{N} \kappa n}, \quad (11)$$

$$f(\arccos n_1) = \frac{2}{N} \sum_{\kappa=0}^{N-1} A_{\phi 1}(\kappa) e^{j \kappa \arccos n_1}. \quad (12)$$

Скориставшись теоремою про оборотності ПФ [1], можна поміняти місцями пряме й зворотне перетворення і, отже, n і κ .

У результаті чого отримаємо:

$$A_{\phi}(\kappa) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} n \kappa}, \quad (13)$$

$$A_{\psi}(\arccos \kappa) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) e^{-j n \arccos \kappa}. \quad (14)$$

Порівнюючи між собою вирази (13) і (14), не важко переконатися в тому, що формула (13) апроксимує огинаючу спектра в точках шкали частот, що рівні між собою за розміщенням, тоді як вираз (14) дає Фур'є-образ в точках, розташованих на осі частот за законом $\arccos \kappa$ і має нормовану шкалу в діапазоні $\kappa \in [-1, +1]$.

Співвідношення (14) будемо називати надалі дискретним перетворенням Фур'є-Чебишева (ДПФЧ).

Такий розподіл коефіцієнтів дає змогу вести спектральний аналіз в одному діапазоні з різною частотною роздільністю. Обчислювані коефіцієнти за ДПФЧ являють собою коефіцієнти Фур'є, розподілені за шкалою діапазону нерівномірно — частіше в центрі й рідше на кінцях.

Якщо використовувати отриману таким чином шкалу частот як ноніус, то можна отримувати максимум роздільності спектра в центрі згущення частотних складових. При цьому коефіцієнти Фур'є обчислюються в одному й тому ж діапазоні, оскільки за допомогою такої шкали можна знаходити ті ж ділянки, які властиві піддіапазону аналізаторів спектра, що реалізують алгоритми перетворення Фур'є, але з кращими інструментальними характеристиками.

Принципи побудови аналізаторів спектра, що реалізують цей метод, можуть бути такими:

а) принцип типових блоків — структури виконуються на функціональних блоках, властивих перетворенню Фур'є;

б) принцип спеціалізації окремих блоків — структури, створені за цим принципом, ураховують властивості базисних функцій, що представляють поліноми Чебишева I-го і II-го роду, а також симетрію сигналів, що дає змогу підвищити швидкодію пристрою та звести до мінімуму апаратні витрати;

в) принцип функціонального перерахунку перетворень — використовує модифіковані функції Бесселя, тобто неповні функції Ангера [16] виду

$$J_n(z) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \cos(nt - z \sin t) dt, \quad (15)$$

що встановлюють зв'язок між перетворенням Фур'є і Фур'є-Чебишева;

г) принцип спільного використання перетворень — реалізує алгоритми перетворень Фур'є і Фур'є-Чебишева при компромісних рішеннях: грубий аналіз щодо перетворення Фур'є і точний — за ДПФЧ;

д) принцип змішаного типу — урахуває функціональні можливості кожного принципу залежно від специфіки вирішуваних задач.

Структура, виконана за принципом типових блоків, зображено на рисунку 1. Вона містить функціональні блоки, застосовувані зазвичай в аналізаторах спектра за перетворенням Фур'є. Нетривіальним блоком цієї структури є блок поліномів Чебишева, що виробляє ортогональні поліноми Чебишева I-го і II-го роду у вигляді косинусної $T_n(i) = \cos(n \arccos i)$ і синусної $U_n(i) = \sin(n \arccos i)$ складових базисних вагових функцій, де n і i — відповідно часові та частотні номери відліків, розподілені в інтервалах $[1, N]$ і $[1, -1]$. Ці складові можуть вироблятися або за рекурентним співвідношенням виду [17]:

$$T_n(i) = iU_{n-1}(i) - U_{n-2}(i);$$

$$U_n(i) = 2iT_{n-1}(i) - U_{n-2}(i),$$

або в пам'яті, що зберігає константи $\arccos I$, які є адресою при обчисленні функцій типу синус і косинус у типовому блоці тригонометричних коефіцієнтів, або в блоці поліномів Чебишева, у якому попередньо записуються обчислені значення поліномів Чебишева. У такій структурі реалізується алгоритм ДПФЧ [14, 15], коли коефіцієнти Фур'є обчислюються матричним способом, а їх розташування нерівномірно на шкалі частот [23].

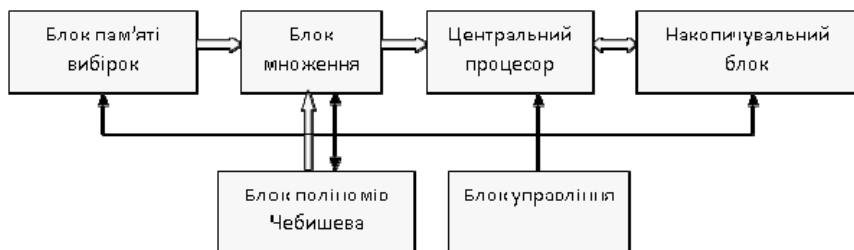


Рис. 1. Структура ДПФЧ, що виконана за принципом типових блоків ПФ

Структура технологічна, проста в експлуатації та вимагає стільки ж обчислювальних операцій, що й структура, яка реалізує алгоритм дискретного перетворення Фур'є.

На рисунку 2 показано структуру аналізатора спектра, що виконана за принципом спеціалізації окремих блоків. Специфічним блоком цієї структури є арифметичний блок, який виконує операцію множення відліків сигналу, попередньо записаних у блок пам'яті вибірок з урахуванням їх симетрії та умовного поділу на групи, на значення матриці вагових коефіцієнтів поліномів Чебишева, також умовно розділених на групи елементарних матриць. Отримані таким чином проміжні результати множення обчислюваної групи спектральних складових накопичуються в блоці пам'яті коефіцієнтів для всіх груп відліків сигналу.

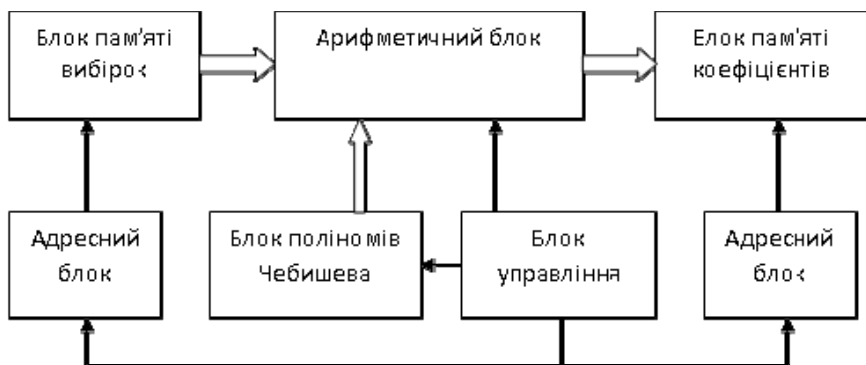


Рис. 2. Структура цифрового аналізатора спектра (скорочено — ЦАС) ДПФЧ, що виконана за принципом спеціалізації блоків

Обчислені групи спектральних складових являють у сумі N коефіцієнтів Фур'є, розподілених за шкалою частот також за законом $\arccos i$. Адресні блоки записують і зчитують групи відліків вибірки сигналу й коефіцієнтів Фур'є.

Спеціалізований арифметичний блок може бути виконаний також на типових блоках обчислення дво- і чотирьохточкового швидкого перетворення Фур'є, двоточкового перетворення Адамара. Швидкодія обчислень при цьому підвищується в чотири рази порівнянно зі структурою, виконаною за принципом типових блоків.

Принцип функціонального перерахунку перетворень заснований на алгоритмі зв'язку ПФ і ПФЧ. Його сутність полягає в

тому, що матриця A вагових функцій $\exp(j \frac{2\pi}{N} kn)$ ПФ і матриця B вагових функцій ПФЧ $\exp(-jn \arccos i)$ пов'язані через матрицю $C: B = C \times A$.

Аналітичний вираз для матриці C може бути знайдений через інтеграл виду [23]:

$$C = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{j\omega t} \cdot e^{-jn \arccos y} dt, \quad (16)$$

де ω — частота, t — час, а $y = f(t)$.

Рішенням інтеграла (16) є вираз:

$$C = \frac{\pi n}{2z} (e^{j\varphi} + e^{j3\varphi}) \cdot j_n(z), \quad (17)$$

яке визначається через неповні функції Ангера $J_n(z)$ виразу (11) з верхньою межею інтегрування $\pi/2$, а $\varphi = z - n\pi/2$, $z = \omega\pi/2$.

Асимптотичне вираження даних функцій Ангера представляється у вигляді розкладання:

$$R_e J_n(z) = 1 - (n - z)^2 + [(n - z)^4 - 4z(n - z)] - \dots$$

$$I_m J_n(z) = (n - z) - [(n - z)^3 - z] + \dots,$$

яке може бути реалізовано за допомогою технічних засобів, описаних у [18]. Знаючи перерахункову матрицю, можна завжди перейти від одного перетворення до іншого.

Структура, яка реалізує принцип спільного використання перетворень, виконується за допомогою двох паралельно працюючих модулів — модуля ПФ і модуля ПФЧ (обидва входять в операційний блок), а також блоку аналізу та функціональних блоків, що застосовуються в структурах, побудованих за принципом типових блоків. В аналізаторі такої структури (рис. 3) модуль ПФ обчислює коефіцієнти Фур'є з рівномірною сіткою частот, а модуль ПФЧ — з нерівномірною сіткою частот. Блок аналізу виконує комутацію каналів з метою визначення корисного сигналу та мінімізації похибки визначення спектральної складової сигналу. У блок пам'яті коефіцієнтів записуються вибіркові коефіцієнти Фур'є, обчислювані в блоці аналізу. Використання двох перетворень дає змогу підвищити якість аналізу.

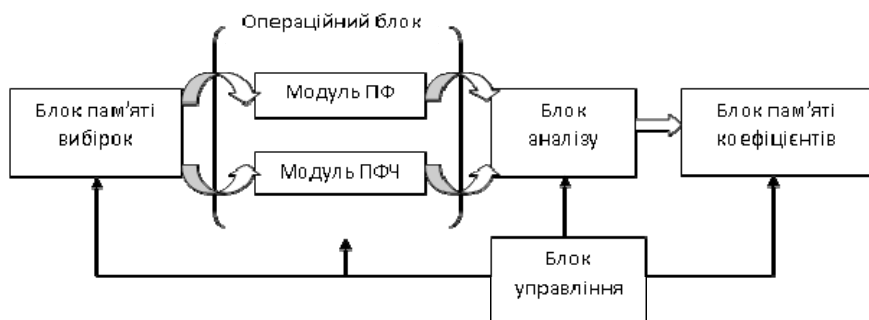


Рис. 3. Структура ЦАС з одночасним перетворенням ПФ і ПФЧ

Структуру, яка використовує принцип змішаного типу, показано на рис. 4. Ця структура програмно може налаштовуватися на один модуль або на групу модулів, що дає змогу розпаралелювати обчислення та підвищувати швидкодію системи.

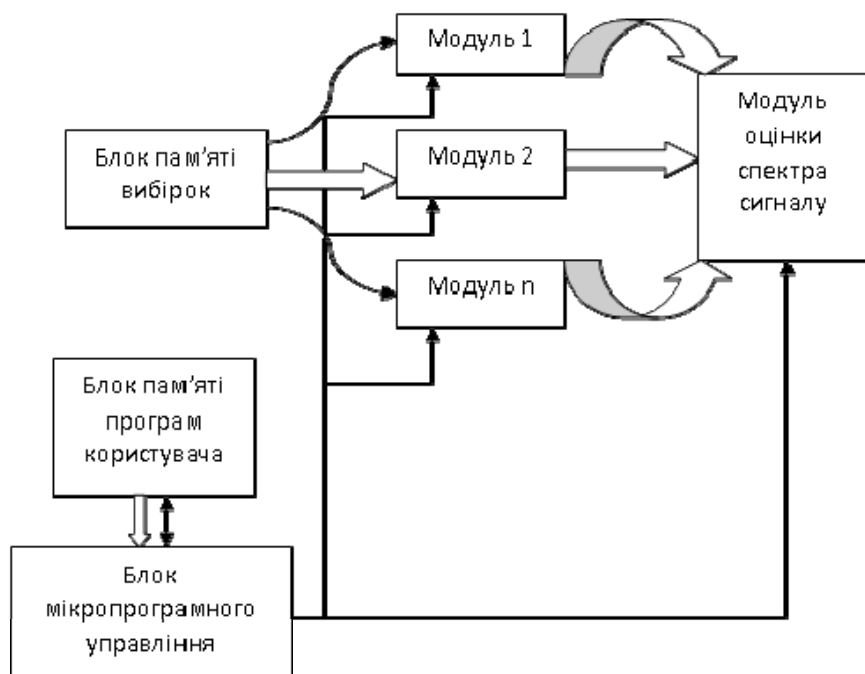


Рис. 4. Структура багатомодульної ЦАС

Висновки та перспективи подальшого розвитку

1. Запропонований метод може ефективно застосовуватися в системах спектрального аналізу при вимірі характеристик смугових сигналів.

2. З погляду структурних рішень, найдоцільнішими є структури, що реалізують швидкі алгоритми ПФЧ, які дають можливість обчислювати одночасно кілька спектральних складових і тим самим забезпечувати прийнятні параметри зі швидкодії за підвищеної частотної роздільності.

3. Розроблені на основі описаного методу алгоритми ПФЧ моделювалися на прикладі сигналу виду:

$$x(n) = \cos \frac{2\pi}{5N} ln + \cos \frac{2\pi}{5N} mn + q,$$

де $q = G \cdot \Delta$ — білий гаусовий шум; G — нормально розподілена випадкова величина; $\Delta \in [0,1]$ — рівень шуму; $l \in [32,40]$, $m \in [40,48]$ — відносні частоти, $N = 32$.

Коефіцієнти ПФЧ обчислювалися за виразом:

$$A(k_l) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \exp(-jn \arccos i),$$

де $k_l = \arccos i$.

Незважаючи на розбіжність частот сигналів базисних функцій спектр S_ψ містить завжди два сигнали основної частоти, тоді як спектр S_ϕ має суттєві розмиття. Похибка визначення частот сигналів спектра складає $\Delta f_i = 2,56\%$ і $\Delta f_m = 1,24\%$, а спектра S_ϕ $\Delta f_i = 15,39\%$, тоді як друга частота не може бути виміряна. Якщо ввести шум зі значенням $\Delta = 0,8$, то похибка визначення тих же частот спектра S_ψ незначно збільшується, тоді як у спектрі S_ϕ сигнали сильно замасковані шумом. Коли частота сигналу кратна частотам базисних функцій, ПФЧ і ПФ, з погляду точності аналізу, адекватні.

Результати досліджень показали, що спектри досліджуваних сигналів ПФЧ мають двогорбу криву (рис. 5), коли частоти сигналів не збігаються з частотами базисних функцій. За допомогою цієї позитивної властивості ПФЧ вдається усунути низку небажаних ефектів, властивих ПФ, пов'язаних з розмиванням спектральних складових.

Алгоритми ПФЧ можуть бути реалізовані в системах спектрального аналізу з можливістю зміни частотної роздільності при вирішенні задач цифрової обробки інформації, таких як кореляція, інтерполяція сигналів, цифрова фільтрація, аналіз випадкових процесів і сигналів, стиснення даних, розпізнавання образів у спеціалізованих обчислювальних системах.

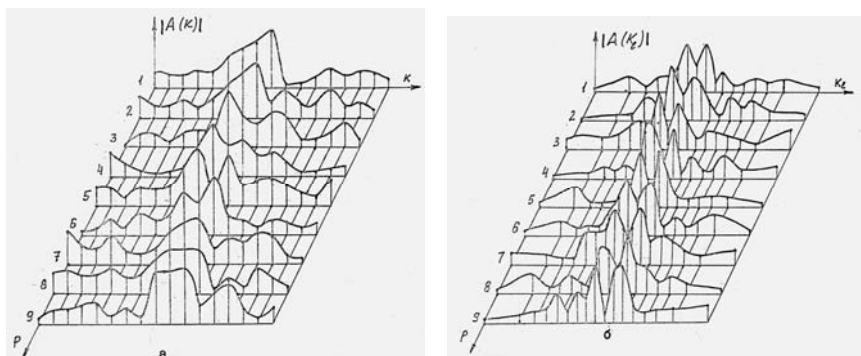


Рис. 5. Спектри ДПФ $A(k)$ та ДПФЧ $A(k_l)$ синусоїдального сигналу при рівні шуму $\Delta = 0,8$

Література

1. *Оппенгейм А., Шафер Р.* Цифровая обработка сигналов. — Изд. 2-е, испр. — М.: Техносфера, 2007. — 856 с.
2. *Рабинер Л., Гоулд Б.* Теория и применение цифровой обработки сигналов. — М.: Мир, 1978. — 848 с.
3. *Стивен Смит.* Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников. Додэка XXI, 2008. — 720 с.
4. *Алфорова З. В.* Теорія алгоритмів. — М.: Статистика, 1983. — 164 с.
5. *Голд Б., Рейдер Ч.* Цифровая обработка сигналов. — М.: Рад. радіо, 1973. — 368 с.
6. *Макс Ж.* Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. — М.: Мир, 1983. — Т. 1. — 312 с.
7. *Макс Ж.* Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. — М.: Мир, 1983. — Т. 2. — 256 с.
8. *Лабунець В. Г.* Фур'є-подібні перетворення // В кн.: Застосування ортогональних методів при обробці сигналів і аналізі систем. — Свердловськ, 1981. — С. 4–14.

9. Кухарев Г. А. Універсальні обчислювальні процедури швидких ортогональних перетворень для задач обробки сигналів // В кн.: Методи і мікроелектронні засоби цифрового перетворення обробки сигналів. — Рига, 1983. Т. 2, С. 11–14.
10. Дагман Е. Є., Кухарев Г. А. Швидкі дискретні ортогональні перетворення. — Новосибірськ: Наука, 1983. — 230 с.
11. Кей С., Марпл С. Сучасні методи спектрального аналізу. — ТІЕР. — 1981. — Т. 69. — № 12. — С. 5–51.
12. Криксунов В. Г. Автоматичні аналізатори спектрів електричних сигналів. — К.: Техніка, 1965. — 223 с.
13. Застосування цифрової обробки сигналів / Під ред. Оппенгейма А. В. — М.: Мир, 1980. — 550 с.
14. Дискретное преобразование Фурье — Чебышева / Б. Н. Малиновский, С. В. Устенко, М. В. Семотюк, А. Ф. Бульбанюк // В кн.: Разработка средств кибернетической техники. — К.: ИК АН УССР, 1982. — С. 98–103.
15. А.С. СССР № 1136181, БИ № 3, 1985 // Устенко С. В. Устройство для ортогонального преобразования цифровых сигналов по Фурье-Чебышеву.
16. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. — М.: Наука, 1977. — 344 с.
17. Суетин П. К. Классические ортогональные многочлены. — М.: Наука, 1979. — 416 с.
18. Введение в кибернетическую технику. Обработка физической информации / Под. ред. Б. Н. Малиновского. — К.: Наукова думка, 1979. — 256 с.
19. Цифрова обробка сигналів та зображень: Навч. посібник / Тотосько О. В., Стухляк П. Д. — Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. — 140 с.
20. Серсієнко А. Б. Цифровая обработка сигналов. — СПб.: Питер, 2002. — 608 с.
21. Солонина А. И., Улахович Д., Яковлев А. А. Алгоритмы и процессоры ЦОС. СПб.: БХВ. — СПб, 2001. — 464 с.
22. Цмоць І. Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі : Монографія — Львів, 2005. — 237 с.
23. Устенко С. В. Принципи побудови спеціалізованих обчислювальних систем на основі алгоритмів перетворення Фур'є-Чебишева / Моделювання та інформаційні системи в економіці. — 2015. — Вип. 91. — С. 90–98.

СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ КОНЦЕПЦІЇ БАЗ ДАНИХ

Бази даних — це невід’ємна складова будь-якої автоматизованої інформаційно-управляючої системи. Правильність побудови та якість бази даних — головні фактори, що впливають на ефективність і життєвий цикл інформаційно-управляючої системи.

Донедавна переважна більшість задач організаційно-економічного управління на рівні підприємств, установ і організацій вирішувалась з використанням реляційних баз даних. Реляційні бази даних більш як тридцять років (з 1980 року) домінували в ІТ-індустрії. Сутність побудови реляційних моделей найбільш повно викладено в роботах Дж. Мартіна [7], К. Дж. Дейта [3], Т. Конноллі [5] та інш.

Основою реляційних моделей є математичне поняття відношення, фізичним представленням якого є двовимірна плоска таблиця, яка складається з рядків (кортежів) і стовпчиків (атрибутів). Кожне відношення характеризує певну сутність предметної області. Реляційні бази даних (БД) — це чітко структуровані дані, що характеризують певну предметну область і представляються у вигляді пов’язаних між собою поіменованих двовимірних плоских таблиць, що перебувають під управлінням системи керування базами даних (СКБД). Реляційні БД мають такі переваги:

- чітке теоретичне підґрунтя, основане на реляційній алгебрі та теорії нормалізації реляційних відношень;
- мова запитів SQL (Structured Query Language), яка незважаючи на наявність синтаксичних відмінностей у різних системах керування базами даних, заснована на одному стандарті ISO і дуже зручна для реалізації запитів;
- наявність діаграми (схеми) бази даних, яка пов’язує між собою таблиці логічними зв’язками та забезпечує підтримку узгодженості та цілісності даних;
- можливість паралельного оброблення даних завдяки механізму підтримки транзакцій;
- інтегрованість, тобто можливість доступу до БД великої кількості користувачів.

Розглянемо основні проблемами використання реляційних БД.

Проблеми опрацювання надвеликих обсягів інформації. В інформаційних технологіях з’явився термін «великі дані» (Big Data), який

охоплює серію підходів, інструментів і методів оброблення структурованих і неструктурованих надвеликих об'ємів даних. Лише в одному Twitter формується близько 100 млн коротких повідомлень за добу. Компанія Google обробляє більше одного петабайта за годину. Спеціалісти з досвідної компанії IDC прогнозують, що до 2020 року, обсяги інформації збільшаться до 40 зеттабайт. Прогнозується, що обсяги даних збільшуватимуться вдвічі кожні два роки. У прес-релізі одного зі світових лідерів в ІТ-сфері компанії DELL EMC стверджується, що до 2020 року, цифровий всесвіт досягне обсягу в 40 зеттабайт, і до 2020 року в 15 разів зростуть обсяги інформації, яка генеруватиметься автоматично [11].

При опрацюванні Big Data потрібно враховувати їх характерні ознаками, які дістали назву «три V», а саме: фізичний об'єм (volume), швидкість (velocity), як зростання обсягів, так і швидкість їх оброблення та отримання необхідних результатів, різноманітність (variety), тобто можливість одночасного оброблення структурованих і напівструктурованих даних. Невпинно зростаючі обсяги даних, які обчислюються терабайтами й петабайтами, є перепорою для використання реляційних СКБД, які є мало продуктивними в таких випадках, а іноді не в змозі впоратися з великими навантаженнями.

Потреба підтримки агрегатів. Реляційні моделі підтримують лише атомарні атрибути й не підтримують їх агрегати, тому іноді їх називають безагрегатними (aggregate-ignore). Під агрегатом розуміється сукупність атрибутів, які інтерпретуються СКБД як єдине ціле. У таблицях реляційної бази дані зберігаються у вигляді атомарних атрибутів. Крім того, при нормалізації дані певного первинного документа розпорошуються на окремі атрибути, що зберігаються в різних реляційних відношеннях. У реальній дійсності дуже часто виникає потреба підтримки агрегатних даних, наприклад певної сукупності атрибутів чи окремих документів як єдиного цілого.

Проблема масштабування БД (Database Scalability). Щоб справлятися зі зростанням обсягів інформації та трафіку, використовують вертикальне та горизонтальне масштабування. Вертикальне масштабування (Vertical scaling) — це збільшення потужності комп'ютерів і серверів БД, що є доволі вартісним і має певну суто технічну межу. Горизонтальне масштабування (Horizontal scaling) у контексті баз даних — це збільшення кількості серверів, що паралельно виконують одну й ту саму функцію, тобто автоматичне розподілення даних між кількома серверами та підтримка кількох датацентрів з можливістю підключення нових комп'ютерів,

які об'єднуються в кластери. За рахунок цього кластери можуть використовувати просте апаратне забезпечення, вартість горизонтального масштабування є набагато меншою за вертикальне. Крім того, кластери є більш надійними, у разі виходу з ладу одного з комп'ютерів кластер продовжує функціонувати.

Основними способами горизонтального масштабування є реплікація та фрагментація (sharding) шардінг [8, 17, 18].

Реплікація — це підтримка ідентичних копій (реплік) на різних вузлах (серверах) розподіленої бази даних. Репліка може включати всю базу даних (повна репліка) чи певні її фрагменти. Підтримка реплікацій — внесення змін до розподіленої бази даних з метою підтримки ідентичності реплік.

Фрагментація, або шардінг — це розподіл бази даних на окремі складові для їх розміщення на різних вузлах (серверах). У розподілених базах даних можна використовувати одночасно обидві стратегії розподілу, тобто реплікацію можна поєднувати із шардінгом.

Реляційні СКБД не дуже підходять для кластеризації. Такі СКБД, як Oracle і Microsoft SQL Server, побудовані на концепції розподілу дискових підсистем і використовують кластерподібну файлову систему. Проте процедура фрагментації бази даних повинна управлятися з додатку, що контролює, який сервер і з якою порцією даних працює. При цьому втрачається можливість управління запитами, транзакціями, цілісністю даних і узгодженістю між складовими кластера. Крім того, перепорою застосування реляційних СКБД є вартість ліцензії. Адже вартість ліцензії комерційної СКБД при переході на роботу з кластерами різко зростає. Це спонукало до пошуку альтернатив реляційним базам даних і сприяло розвитку баз даних NoSQL. Зокрема великий вплив на розвиток нового напрямку баз даних зробили дві компанії Google і Amazon, які накопили великі обсяги інформації та були лідерами в горизонтальному масштабуванні й роботі з кластерами.

Значні витрати часу на адміністрування. Низка завдань, пов'язаних з масштабуванням і реплікацією, є доволі складними й трудомісткими в середовищі реляційних СКБД. У NoSQL-базах аналогічні операції займають лічені хвилини. Завдання встановлення та налаштування використання NoSQL-рішень зазвичай істотно простіші та менш трудомісткі, ніж у випадку з реляційними СКБД.

Домінуючи на ринку IT-технологій, реляційні бази даних довго були єдиним оптимальним вирішенням практично будь-якої задачі. Проте обмеження застосування реляційних баз даних спонукало до розвитку нового напрямку баз даних, що дістали назву NoSQL. NoSQL — це спільна назва всіх СКБД, що не мають у

своєму арсеналі мову запитів SQL. Ця назва не заперечує реляційні СКБД, вона трактується як «Not Only SQL», тобто «не лише SQL». Поява та розвиток нереляційних баз даних зумовлені швидким зростанням обсягів інформації та поширенням Інтернету. Інтернет-сервіси, такі як електронна пошта, соціальні мережі, блоги, електронна комерція, картографічні систем та інші, які надто часто оперують з дуже великими обсягами розподіленої неструктурованої чи слабо структурованої інформації, створили передумови для появи БД NoSQL.

Для переважної більшості WEB-додатків, таких як соціальні мережі, торговельні портали та різноманітні сайти, характерним є надвеликі обсяги даних і безліч користувачів, які можуть не лише переглядати, а й часто записувати чи змінювати дані.

Назвемо особливості баз даних NoSQL [2, 13, 17, 32]:

- не підтримується реляційна модель бази даних, тобто табличне подання даних;

- не використовується мова запитів SQL. Відсутність SQL в арсеналі баз NoSQL не є свідченням відсутності мови запитів у цих системах. Усі вони мають мову запитів, яка є відмінною від мови SQL. Проте деякі NoSQL-системи мають мову запитів, яка є дуже подібною до мови SQL;

- відсутність чітко заздалегіть заданої, регламентованої структури даних. Тобто в базах даних NoSQL можна за потреби додавати нові поля чи змінювати їх формати, для цього достатньо відобразити ці зміни в коді програми;

- відсутність діаграми (схеми) бази даних. Тобто NoSQL СКБД не підтримують статичну, жорстко задану схему даних, але при цьому мають можливість підтримки гнучких динамічних схем;

- можливість підтримки агрегатів і ненормалізованих даних;

- відсутність механізму підтримки транзакцій. Проте ця характеристика властива не всім базам даних NoSQL, зокрема, графові моделі мають механізм підтримки транзакцій;

- підтримка горизонтального масштабування на кластерах. Переважній більшості NoSQL-систем характерна ця властивість, тобто орієнтація на роботу з кластерами;

- робота з Big Data, тобто надвеликими обсягами даних;

- СКБД NoSQL — це в переважній більшості проекти з відкритим кодом.

Перелічені вище особливості є спільними характеристиками для баз даних NoSQL, проте жодна з них не є визначальною, у цьому і є проблема формулювання загального визначення для цього класу СКБД. Термін NoSQL уперше застосував у 1998 році

Карло Строщі (Carlo Strozzi) для своєї опенсорсної бази даних, у якій була відсутня мова запитів SQL. Проте тоді цей термін не мав нічого спільного з теперішніми базами NoSQL [23].

Пізніше, в 2009 році, на конференції у Сан-Франциско, на якій обговорювались питання ІТ-технологій в сфері зберігання й оброблення даних, Ерік Еванс для лаконічності запропонував термін NoSQL, який не мав під собою глибокого семантичного змісту [32]. Але цей термін прижився і став назвою нового напрямку розвитку концепції нереляційних баз даних. Незважаючи на те, що цей термін широко використовується, переважна більшість спеціалістів висловлює думку проте, що розвиток і поява нових баз даних NoSQL усе більш унеможливорює отримання ними спільного визначення, та стверджують, що аббревіатура NoSQL — це випадковий неологізм.

На сьогодні БД NoSQL дуже стрімко розвиваються та їх кількість постійно збільшується. Перелік найпоширеніших систем наведено в [33].

Про розвиток баз даних NoSQL свідчить рейтинг DB-Engines. Отже, згідно з рейтингом інформаційного видання DB-Engines, яке проаналізувало 347 СКБД, лідирують реляційні СКБД Oracle, MySQL і Microsoft SQL Server (рис. 1).

347 systems in ranking, May 2019

Rank			DBMS	Database Model	Score		
May 2019	Apr 2019	May 2018			May 2019	Apr 2019	May 2018
1.	1.	1.	Oracle	Relational, Multi-model	1285.55	+5.61	-4.87
2.	2.	2.	MySQL	Relational, Multi-model	1218.96	+3.82	-4.38
3.	3.	3.	Microsoft SQL Server	Relational, Multi-model	1072.19	+12.23	-13.66
4.	4.	4.	PostgreSQL	Relational, Multi-model	478.89	+0.17	+77.99
5.	5.	5.	MongoDB	Document	408.07	+6.10	+65.96
6.	6.	6.	IBM Db2	Relational, Multi-model	174.44	-1.61	-11.17
7.	8.	9.	Elasticsearch	Search engine, Multi-model	148.62	+2.62	+18.18
8.	7.	7.	Redis	Key-value, Multi-model	148.40	+2.03	+13.06
9.	9.	8.	Microsoft Access	Relational	143.78	-0.87	+10.67
10.	11.	10.	Cassandra	Wide column	125.72	+2.11	+7.89

Рис. 1. Перша десятка СКБД згідно з рейтингом видання DB-Engines

Проте в десятці лідерів з’явилися системи NoSQL, які нарошують свою популярність, зокрема це СКБД MongoDB (5-е місце в рейтингу) і СКБД Elasticsearch, Redis, Cassandra, які посідають 7-е, 8-е і 10-е місця відповідно [11]. Усього в першій півсотні рейтингу СКБД налічується 20 систем NoSQL, що свідчить про їх стрімкий розвиток і популярність.

Теоретичним підґрунтям баз даних NoSQL, які в основному використовуються у розподілених системах, є теорема CAP

(Consistency, Availability, Partition tolerance), яка була запропонована Єріком Брюером (Eric Brewer), а також відома спеціалістам як гіпотеза Брюера [24].

У теоремі CAP зазначається, що розподілена система (це також стосується розподілених БД) не може одночасно мати більше двох з трьох таких характеристик: доступність (Availability), узгодженість (Consistency) і стійкість до розподілу (Partition tolerance).

Доступність (Availability) — полягає в тому, що будь-який запит до розподіленої бази даних отримує відгук навіть у разі виходу з ладу деяких вузлів, позаяк вузли, що залишились неушкодженими, продовжують функціонувати.

Узгодженість (Consistency) — дані в різних вузлах не суперечать один одному, і після виконання кожної операції система знаходиться в узгодженому стані, тобто всі користувачі в будь-який момент часу бачать однакові дані.

Стійкість до розподілу (Partition Tolerance) — система зберігає працездатність при її фізичному розподілі, тобто, якщо за певних збоїв у мережі система розпадається на непов'язані між собою групи вузлів, то, незважаючи на це, кожна така група продовжує функціонувати.

Виходячи з теореми CAP, при побудові розподіленої бази даних залежно від завдань, які потрібно вирішувати, обирається певний клас СКБД. Згідно з теоремою CAP усі СКБД поділяються на три класи (рис. 2): клас CA, які забезпечують узгодженість і доступність, клас CP підтримують узгодженість і стійкість до розподілу та клас AP, що характеризується доступністю і стійкістю до розподілу [21, 31].

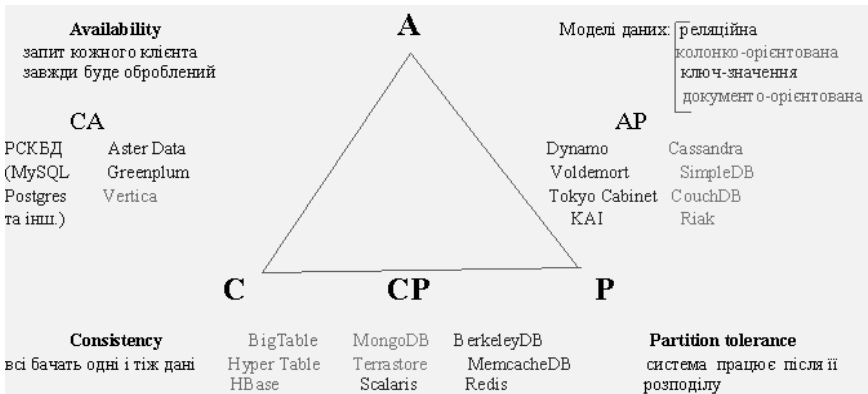


Рис. 2. Розбивка на класи деяких СКБД згідно теореми CAP

До першого класу належать традиційні реляційні СКБД, що неможливе їх використання в розподілених системах, у яких іноді потрібно нехтувати узгодженістю чи доступністю даних. Переважна більшість баз даних NoSQL належать до CP чи AP класу. Виходячи з цього, для баз даних NoSQL не потрібно чітко дотримуватись вимог механізму підтримки транзакцій — ACID (Atomicity, Consistency, Isolation and Durability). Абревіатура ACID вперше з'явилась у 1983 році в статті Тео Хаєрдера (Theo Haerder) і Андреаса Рейтера (Andreas Reuter) «Принципи відновлення баз даних, орієнтованих на операції» [37]. Транзакції характеризуються такими властивостями: атомарність (Atomicity), узгодженість (Consistency), ізольованість (Isolation), надійність (Durability).

Атомарність — трактується як «усе або нічого», тобто успішно виконана транзакція вносить зміни до бази даних, у протилежному випадку зміни не відбуваються.

Узгодженість — це властивість, яка означає, що транзакція буде успішно завершена лише тоді, коли зміни не порушують цілісності бази даних.

Ізольованість — означає локальне виконання кожної окремої транзакції, тобто транзакції, що виконуються паралельно, не впливають одна на одну.

Надійність — означає, що зміни, внесені до бази даних після успішного завершення транзакції, гарантовано зберігаються, навіть у разі збоїв обладнання чи програмного забезпечення.

Проте підтримка ACID-вимог в умовах розподілених систем збільшує складність таких систем і час реакції через велику кількість взаємодій у розподіленій мережі. Тому в базах даних NoSQL послаблені вимоги узгодженості на користь швидкості й доступності даних і їх горизонтального масштабування.

ACID-вимоги для баз даних NoSQL замінені BASE-вимогами, які є менш суворі до узгодженості, допускаючи тимчасову відмінність одних і тих же копій даних, але при цьому за певних умов збільшується доступність до розподіленої системи. BASE-вимоги формулюються як базова доступність (Basic Availability), яка гарантує завершення кожного запиту; гнучкий стан (Soft state), тобто стан системи може змінюватись незалежно від того, були введені нові дані чи ні; можлива узгодженість (Eventual consistency). При цьому слід зауважити, що відсутність підтримки вимог ACID стосується лише агрегатно-орієнтованих моделей баз даних, графові та інші безагрегатні

моделі підтримують ACID вимоги, подібно до того, як це роблять реляційні моделі баз даних.

Назвемо найпоширеніші моделі представлення даних у системах NoSQL [4, 13, 14, 17, 22, 28].

Модель — ключ/значення (Key-Value Stores) — агрегатно-орієнтована модель бази даних. Це проста форма організації даних у вигляді хеш-таблиць, яка характеризується високою швидкістю та дає змогу зберігати в пам'яті за певним ключем будь-які дані: числові, текстові чи серіалізовані об'єкти. Це максимально спрощена база даних, де все зведено до пари: ключ та самі дані. Доступ до такої бази даних дуже простий — це команди на зразок: `get` (найти дані за ключем), `set` (записати дані з ключем), `delete` (вилучити ключ і відповідні йому дані), `update` (оновити за ключем існуючі дані). Вторинні ключі в таких системах не використовуються. Важливим у такій базі даних є структура ключа. Ключі можна генерувати за допомогою певного алгоритму, чи використовувати як ключ ідентифікатори користувачів або їх електронні адреси, ідентифікатори веб-сесії та ін.

Модель ключ-значення має певні обмеження в її використанні. А саме:

- відсутня можливість встановлення відношень і зв'язків між наборами значень бази даних, що зберігаються з різними ключами;

- не можливо реалізувати пошук конкретних даних за відповідними їх значеннями, можлива лише вибірка всіх документів, що зберігаються за певним ключем.

- операції в базі даних «ключ-значення» в кожному конкретний момент часу обмежені одним ключем і не можливо одночасно виконувати операції з кількома ключами.

Представниками систем, у яких дані зберігаються за цим принципом, є: Redis, Riak, Scalaris, Tokyo Cabinet, Project Voldemort, Memcached, Berkeley DB, HamsterDB, Amazon DynamoDB, Oracle NoSQL Database.

Як приклад моделі ключ/значення розглянемо систему Redis (Remote Dictionary Service — віддалена служба словників) [29], яка згідно з рейтингом СКБД (див. рис. 1) знаходиться на восьмому місці. СКБД Redis — це система на мові C, з відкритим кодом, яка підтримує рядки (Strings), множини й списки даних (Lists) та інші структури. Перша версія Redis вийшла в 2009 році. На сьогодні Redis використовується в таких великих проєктах, як Twitter, Instagram, Digg, Github, StackOverflow, Flickr та ін.

Окрім операцій пошуку за ключем, запису за ключем, вилучення та оновлення за ключем Redis підтримує горизонтальне масштабування та асинхронні реплікації на зразок «головний-підпорядкований». Клієнтські бібліотеки для роботи з Redis доступні для переважної більшості мов програмування.

У Redis основним при роботі з даними є ключ. Ключ — це поле, що ідентифікує фрагменти даних, тобто їх значення. У Redis усі доступні операції виконуються лише з ключем, система не надає можливості маніпулювати з конкретними значеннями даних, що зберігаються в БД.

Виходячи з наданих характеристик, можна зробити висновок, що СКБД Redis є специфічною системою, яка не підходить для будь-якого сценарію роботи з даними. Redis найчастіше застосовується як сховище ключів для даних, які важко й довго обчислювати щоразу заново. У ключах можна задавати термін зберігання даних. Redis дуже ефективно застосовується в системах багатостороннього зберігання даних, у яких використовується одночасно кілька СКБД. У таких системах на Redis покладається завдання швидкісного заповнення бази даних.

Колонко-орієнтована модель (Tabular Column-oriented) — агрегатно-орієнтована модель бази даних, у якій агрегат містить дані одного чи кількох стовпчиків таблиці. У цих моделях підхід до структуризації даних відмінний від реляційних систем, у яких одиницею зберігання, пошуку та маніпулювання даними є кортежі (рядки) таблиць. Такий підхід використовуються для тих задач, у яких потрібно зчитувати по кілька стовпчиків з кількох структур одночасно. Тоді краще одиницею зберігання в базі даних зробити групи стовпчиків. Це зручно при обробленні архівних даних і каталогів, у яких пошук і вибірки виконуються за стовпчиками, а не за рядками. Бази даних цього типу організують стовпчики в сімейства (асоціативні масиви). Кожен стовпчик повинен бути частиною певного сімейства й одиницею доступу, при цьому дані конкретного сімейства можуть бути одночасно доступним. Представниками таких колонко-орієнтованих систем зберігання даних є: BigTable, HyperTable, Hypertable, HBase, Hadoop, Cassandra, Amazon SimpleDB.

Як приклад СКБД, в основу якої покладено *колонко-орієнтовану модель*, розглянемо дуже поширену на практиці СКБД Cassandra. Cassandra є проектом з відкритим кодом на мові Java. Система Cassandra [19] була розроблена й використовувалась у Facebook. В її основу взято ідеї Google BigTable і Amazon Dynamo. У 2009 році код Cassandra було передано фонду

Apache і на сьогодні ця СКБД використовується в таких компаніях: Adobe, CERN, Cisco, IBM, HP, Comcast, Disney, eBay, Netflix, Sony, Rackspace, Reddit, Digg и Twitter.

Модель даних Cassandra складається з стовпчиків, рядків сімейства стовпчиків і простору ключів. Найменшою структурною одиницею зберігання даних у СКБД Cassandra є стовпчик (*Column*). Стовпчик — це кортеж (*tuple*), що складається з ім'я (*name*), значення (*value*) і часової мітки (*timestamp*). Ім'я стовпчика є його ключем. За часовим параметром можна визначити термін зберігання даних. Усі перелічені три параметри задаються клієнтом, зокрема й *timestamp*. Таким чином, часові параметри в клієнтів повинні бути синхронізованими, позаяк *timestamp* використовується для вирішення конфліктів при внесенні змін до даних.

Стовпчики можуть об'єднуватись у сімейства. Сімейство стовпчиків (*column family*) — це рядок, який містить дані певної кількості стовпчиків, що ідентифікуються ключем рядка. У сімейство об'єднуються семантично споріднені стовпчики, які потрібно шукати чи считувати як єдине ціле. Рядок ідентифікується ключем (*row key*) і являє собою ключ і пов'язані з ним набори стовпчиків. У Cassandra, кожне сімейство стовпчиків зберігається в окремому файлі, який відсортований за ключем рядка. Сімейство стовпчиків можна порівнювати з рядками в реляційній таблиці, у якій ключ ідентифікує рядок, а рядок складається з множини атрибутів. Відмінність від реляційної бази полягає в тому, що різні рядки одного сімейства стовпчиків можуть мати різну структуру, тобто вміщувати різні стовпчики. Крім того, за потреби певні рядки, а не всі разом можуть бути поповнені новими стовпчиками.

Якщо сімейство стовпчиків складається з звичайних стовпчиків, то воно називається стандартним (*standard column family*). Якщо стовпчик являє собою асоціативний масив стовпчиків, то тоді він є суперстовпчиком (*super column*). Суперстовпчик — це стовпчик-контейнер, що містить у собі інші стовпчики. Тобто суперстовпчик — це група стовпчиків під одним ключем. Простір ключів (*Keyspace*) — це група з певної кількості логічно пов'язаних сімейств стовпчиків. Простір ключів подібний до діаграми (схеми) у реляційній базі даних. Для реалізації запитів у СКБД Cassandra використовується мова CQL (*Cassandra Query Language*), яка за синтаксисом є дуже подібною до мови SQL. Для прискорення виконання запитів у системі можна створювати вторинні індекси.

У системі Cassandra зберігається лише остання версія даних, тобто, якщо в сімейство стовпчиків надходить стовпчик з ключем та іменем, які уже існують в базі, а мітка часу більша за існуючу, то на місце старих даних перезаписуються нові.

Cassandra характеризується великою швидкістю й легко масштабується. При горизонтальному масштабуванні дані розподіляються між кластерами, які не мають ведучого, тому операції читання та запису можна виконувати на будь-якому кластері. Система добре працює як на двох так, і на тисячі серверів. При цьому переконафігування при поповненні новими вузлами виконується повністю в автоматичному режимі. Крім легкого поповнення кластерів, виявлення збоїв і відновлення роботи системи також виконується автоматично. Реплікації можуть здійснюватись як у межах одного кластера, так і між територіально віддаленими кластерами.

Документно-орієнтована (Document-Oriented) модель — агрегатно-орієнтована база даних, у якій агрегат — це зазвичай окремий документ, який представлений у форматі, JSON. У таких базах кожний запис зберігається як окремий документ, що має свій власний набір атрибутів. Можна зберігати складні документи, тобто один батьківський документ може вмішувати кілька вкладених дочірніх документів. На відміну від баз даних «ключ-значення» в документно-орієнтованих базах даних є можливість реалізації запитів до певних даних конкретного документа, не викликаючи при цьому весь документ по його ключі. Поширеними системами, які підтримують документно-орієнтовану модель, є: CouchDB, MongoDB, OrientDB, RavenDB, Terrastore. У базах даних такого типу немає поняття схеми даних, уся інформація зберігається в форматі JSON (*JavaScript Object Notation*) чи його похідних. Наприклад, у системі MongoDB використовується формат BSON, який є розширенням JSON і дає змогу зберігати бінарні дані. Анонсована спроба створення специфікації спільної мови UnQL для баз даних такого типу.

Незважаючи на те, що на сьогодні відомо безліч баз даних NoSQL-систем, розглянемо MongoDB, яка посідає п'яте місце в рейтингу найбільш поширених СКБД [9, 16, 26, 30]. MongoDB — це система керування документно-орієнтованою, розподіленою базою даних, яка орієнтована на WEB-додатки та інфраструктуру Інтернету. Перша версія СКБД MongoDB розроблена в 2009 р. компанією 10gen. Продукт MongoDB реалізований на мові C++; він має драйвери для багатьох мов програмування, включаючи

C, C#, C++, Erlang, Haskell, Java, JavaScript, Perl, PHP, Python, Ruby и Scala. Крім того, передбачений інтерфейс командного рядка для JavaScript. MongoDB написана на C++, тому її можна використовувати на різних платформах. MongoDB може бути інстальована в середовищі Windows, Linux, MacOS, Solaris. Це система з відкритим кодом, яка є зручною при горизонтальному масштабуванні та роботі з кластерами й характеризується високою продуктивністю. У СКБД MongoDB реалізовано механізм горизонтального масштабування, який виконує розбивку даних на певні сегменти. Це механізм автошардування (auto-sharding), який автоматично керує розподілом даних між вузлами. Система сама додає нові вузли й автоматично переходить на резервний сервер при виникненні збою основного сервера. Шардінг у MongoDB забезпечує просте й зручне додавання нових машин без простоїв системи, допускається масштабування до тисячі вузлів і тим самим реалізується підвищення відмовостійкості. Реплікації у MongoDB — це механізм синхронізації даних між кількома копіями одного об'єкта. Записи посилаються на один основний сервер (master), який синхронізує свій стан з іншими серверами, які виступають як підпорядковані (slave). Реплікасет (множина реплік) — це форма асинхронної реплікації між основним і підпорядкованими вузлами, яка забезпечує автоматичну відмовостійкість і відновлення вузлів після збою. Реплікасет складається з двох чи більше вузлів, які є копіями один одного, при цьому всі члени реплікасета є рівнозначними, а основний вузол обирається автоматично.

У СКБД MongoDB відсутня схема (діаграма) бази даних та оператори JOIN, за допомогою яких у реляційних моделях здійснюється зв'язування таблиць між собою. Проте MongoDB також має зручну й прозору модель даних, яка підтримує різноманітні ієрархічно організовані структури даних, що дає змогу не використовувати численні зв'язування багатьох таблиць, як цього потребують реляційні бази даних. Так, у системі електронної комерції інформація про певний товар може розміщуватися в кількох таблицях реляційної бази даних, а в системі MongoDB переважна більшість інформації про певний товар можна представити в одному документі, вкладаючи один документ в інший. Для реалізації на зразок співвідношення «багато до багатьох» у MongoDB використовуються масиви, які також можуть бути представлені в документі. Наприклад, автомобілів може багато різних марок, тоді всі вони також описуються в документі, що характеризує певний документ як масив марок.

Таким чином, основою MongoDB є документ (document), який представляється як упорядкований набір ключів з певними значеннями. Документи об'єднуються в колекції (collection). Колекція — це сокупність структурно чи семантично подібних документів. Одна колекція може вміщувати документи різної структури з різними типами значень полів і ключів. Спільним для об'єднання документів в одну колекцію може бути предметна область, яку вони характеризують. Кожна колекція ідентифікується певним ім'ям, яке не повинно перевищувати 128 символів, завжди починається з букви чи цифри, також може вміщувати знак крапки. Документ обов'язково повинен мати первинний ключ, який має бути унікальним у межах колекції, що записується в полі `_id` певного документа. Первинний ключ може задаватися розробником чи генеруватися системою як ідентифікатор об'єкта. Якщо первинний ключ не заданий розробником, то СКБД автоматично створює 12-байтовий, 16-значний бінарний ідентифікатор. Структуру ідентифікатора об'єктів подано на рис. 3, вона вміщує чотирьох байтну мітку часу типу `timestamp`, трьох байтний ідентифікатор комп'ютера, 2-байтний ідентифікатор процесу і трьох байтне поле для лічильника. Така структура дає змогу створювати до 16 777 216 унікальних ідентифікаторів об'єктів (`ObjectId`) за секунду для одного процесу. Перші 9 байт гарантують унікальність комп'ютера, наступні 3 байта — унікальність упродовж секунди конкретного процесу.

Ідентифікатор об'єкта має таку структуру:

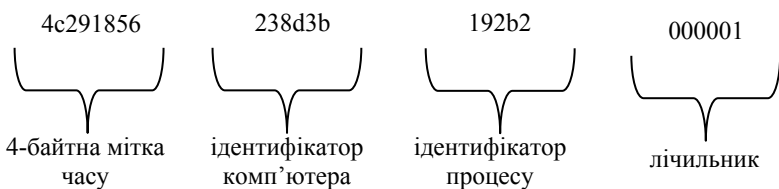


Рис. 3. Структура ідентифікатора об'єктів

Стандартна часова мітка дає можливість за необхідності встановити дату та час створення документа з точністю до секунди.

Еквівалентним поняттям колекція є таблиця реляційної бази даних. Колекція може містити певну кількість документів. База даних MongoDB — це набір колекцій (рис. 4).

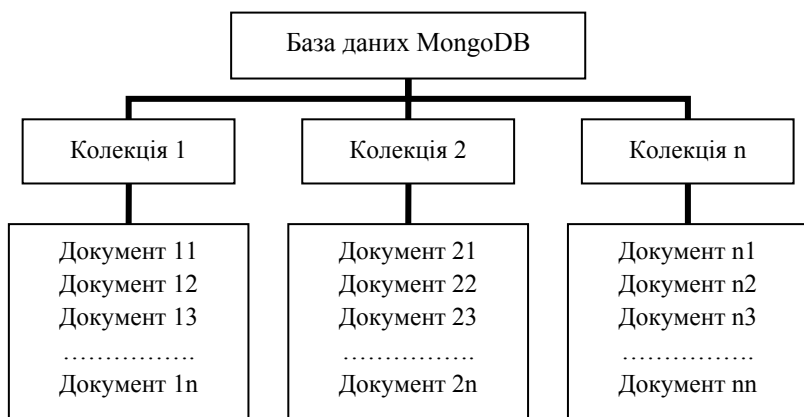


Рис. 4. Структурна схема бази даних MongoDB

Один примірник MongoDB може підтримувати кілька баз даних, кожна з яких незалежна.

Кожен документ характеризується певним набором полів, що можна розглядати як стовпчик таблиці, а окремий документ — як рядок таблиці. Колекція не має певної схеми, що дає змогу зберігати в рамках однієї колекції кілька різних документів.

На рис. 5 показано відповідність структур реляційної та документо-орієнтованої бази даних MongoDB.

Для опису складових бази даних використовується JSON-формат (JavaScript Object Notation), який дає можливість описувати складні структури документів. На фізичному рівні всі документи зберігаються на дисках у двійковому форматі BSON (БиСон) — скорочено від binary JSON. Документ являє собою набір пар: «ключ (key) — значення (value)». База даних і колекції створюються при вставках першого документа.

Нижче наведено приклад документу, який характеризує одного клієнта:

```
{«username»: «Anna»,
 «usersurname»: «Gurina»}
```

У виразі «username»: «Anna» — username — key, а Anna — значення. Для цього документа вкажемо колекцію з ім'ям users, де буде він збережений:

```
>db.users.insert ({«username»: «Anna»,
 «usersurname»: «Gurina»})
```

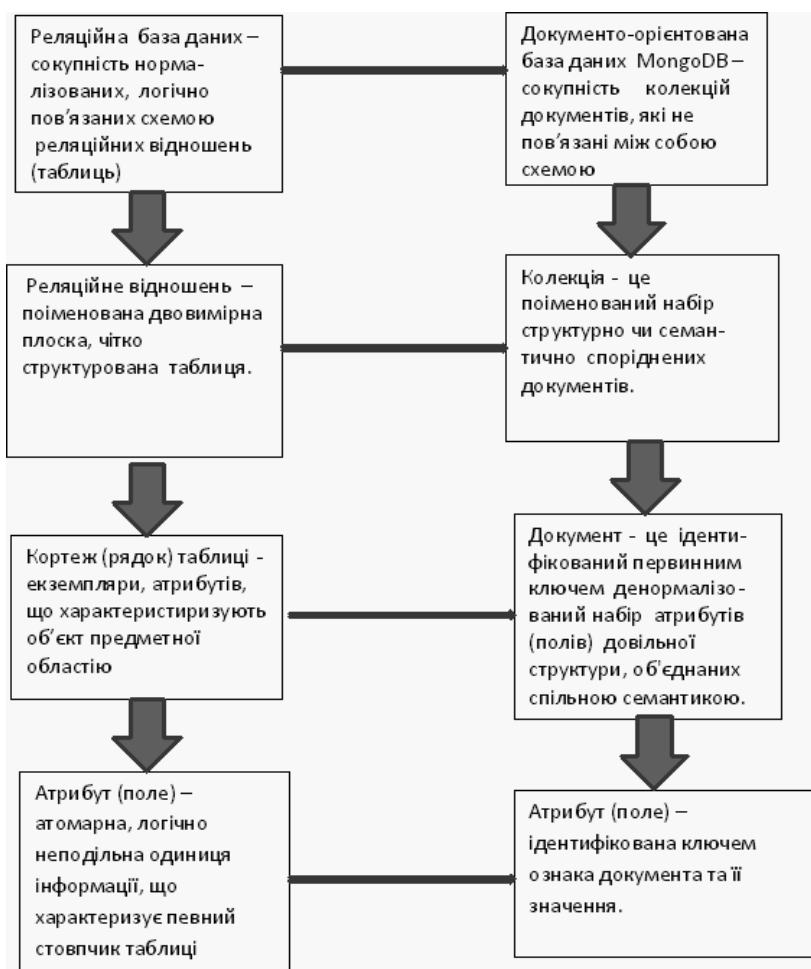


Рис. 5. Схема відповідності між структурними елементами реляційної та документо-орієнтованої бази даних MongoDB

У MongoDB можуть використовуватись різні типи даних. Назвемо їх.

- Integer — використовується для зберігання цілочисельних значень. Залежно від сервера може бути як 32-бітовим, так і 64-бітовим.
- Double — застосовується для зберігання значень з плаваючою крапкою.

- Boolean — використовується для зберігання логічних (true/false) значень.
- String — використовується для зберігання символьних рядків.
- Arrays — даний тип даних застосовується для зберігання масивів значень за одним ключем.
- Object — використовується для вбудованих документів.
- Symbol — використовується також, як і String, але зазвичай резервується для мов, які застосовується спеціальні символи.
- Null — використовується для зберігання значення Null.
- Timestamp — використовується для зберігання дати та часу.
- Min / Max — використовується для порівняння значень з найбільшим і найменшим BSON (Binary JSON) елементом.
- Object ID — використовується для зберігання ID-документа.
- Regular Expression — використовується для зберігання регулярних виразів.
- Code — використовується для зберігання JavaScript коду в документі.
- Binary data — даний тип даних дає змогу зберігати бінарні дані.
- Date — використовується для зберігання поточної дати або часу в UNIX-форматі.

Документи об'єднуються в колекції. Приклад колекцій бази даних Інтернет-магазину наведено на рис. 6.

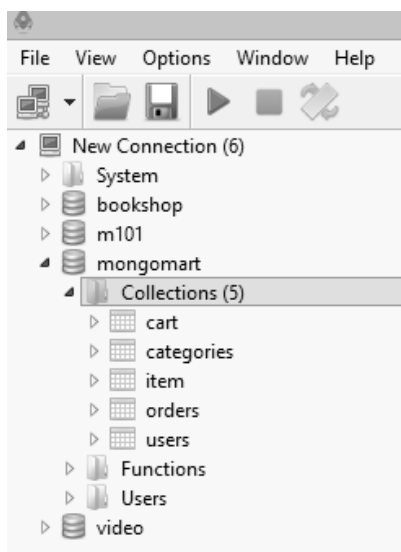


Рис. 6. Набір колекцій бази даних Інтернет-магазину

Наведений приклад бази даних Інтернет-магазину містить п'ять різних колекцій, а саме:

- Cart (Кошик);
- Categories (Категорії);
- Item (Товар);
- Orders (Замовлення);
- Users (Клієнт).

У MongoDB можна створювати індекси, які прискорюють пошук необхідних документів. Ключі індексації можуть бути простими чи складовими, тобто вміщувати ключі вкладених документів чи файлів.

СКБД MongoDB може зберігати різні документи з різними наборами даних, але розмір документа обмежується 16 мб. Для вирішення проблеми цього обмеження у MongoDB існує файлова система GridFS, яка дає змогу вийти за рамки обмеження, тобто зберігати дані більш як 16 мб.

GridFS вміщує дві колекції: колекцію files, яка зберігає імена файлів і метадані, колекцію chunks, у які зберігаються дані файлів, представлені у вигляді окремих сегментів розміром по 256 кб. До складу MongoDB входить спеціальна утиліта mongofiles, яка підтримує технологію GridFS.

MongoDB не має механізму підтримки транзакцій, але дає можливість за допомогою різних способів виконувати атомарне оновлення структур документів.

MongoDB рекомендують використовувати за великої кількості запитів, що одночасно надходять у систему (більше тисячі за секунду), а також за великої кількості операцій запису. Саме можливість швидкого запису є однією з головних переваг цієї бази даних.

Описані вище агрегатно-орієнтовані моделі інтерпретують агрегат як єдине ціле при роботі з даними. Атомарність підтримується лише на рівні вмісту певного агрегата, позаяк агрегатно-орієнтовані бази даних не підтримують вимог ACID. Якщо потрібно оновлювати кілька агрегатів одночасно, то прикладна програма повинна самостійно реагувати на виникнення збою при одночасному зверненні до декількох агрегатів. Таким чином, якщо для даних характерним є наявність великої кількості зв'язків, то краще використовувати графові моделі.

Графова модель (Graph Databases) — це безагрегатна модель бази даних. Поява агрегатно-орієнтованих моделей зумовлена потребою зберігання великих записів, які характеризуються відсутністю або простими зв'язками. Проте іноді потрібно зберігати

записи з великою кількістю зв'язків між ними. Для таких випадків підходять графові моделі баз даних. У таких моделях вершини й ребра графа використовуються для представлення даних. Ця модель якоюсь мірою розширює можливості моделі key/value, бо, крім даних, що зберігаються у вершинах графа є дуги, що вказують на зв'язки між ними. Графові моделі найчастіше працюють на одному сервері, а не розподілені по кластерах. Крім того, графові моделі підтримують вимоги ACID, тобто транзакції. Графові моделі відносять до баз даних NoSQL, бо вони не підтримують реляційну модель і не мають мову SQL. Дуги в графових моделях можуть бути двонаправленими, що дає змогу відображати складні взаємозв'язки між даними предметної області. Наприклад, вузли detail і virib можуть бути пов'язаними двонаправленою дугою, позаяк деталей може входити до багатьох виробів, а виріб складається з багатьох деталей, тобто графові моделі підтримують зв'язки між сутностями типу Б:Б.

Поширеними системами, що підтримують цей тип моделей, є: Neo4j, AllegroGraph, ActiveRDF, Infogrid і HyperGraphDB, Infinite Graph, Bigdata, OrientDB.

Ураховуючи те, що графові бази даних оперують зв'язаними вузлами, переважна більшість графових СКБД не працює з кластерами, тобто не має можливості розподілу вузлів між кількома серверами. Винятком є база даних Infinite Graph, яка підтримує розподіл вузлів по кластеру серверів.

Подальшим розвитком моделей, заснованих на графах, є представлення моделі бази даних у вигляді гіперграфа. Гіперграф — це граф, в якому одне ребро може мати більш як дві вершини. Система HyperGraphDB розширює концепцію гіперграфа й дає змогу ребру посилатися на інше ребро.

Графові бази даних знайшли успішне застосування в системах, для яких характерним є численні взаємозв'язки між даними. Прикладом можуть слугувати соціальні мережі, геоінформаційні, картографічні, логістичні системи та різні системи маршрутизації та диспетчирезації. Останнім часом графові бази даних почали використовувати в банківських і фінансових установах для попередження та запобігання шахрайських операцій з кредитами та картковими операціями. Графові СКБД можуть також бути використаними в урядових системах, які ведуть боротьбу зі злочинністю і запобігають тероризму.

Як приклад системи, побудованої на графовій моделі, розглянемо СКБД Neo4j [14, 25, 38]. СКБД Neo4j має зручний веб-інтерфейс з візуалізацією графів, підтримує транзакції. Будь-яка

операція зміни даних, крім операції читання, оформлюється як транзакція. База даних Neo4j написана на Java, тому її можна вмонтовувати в додатки, які написані на мові Java. При роботі на одному сервері дані завжди узгоджені. При роботі на кластері запис даних на ведучий сервер синхронізується з підпорядкованими вузлами й навпаки, запис даних на підпорядковані сервери синхронізується з ведучим сервером. Сервер, який першим приєднався до кластеру, стає ведучим вузлом. У разі виходу з ладу ведучого вузла, кластер обирає ведучий вузол серед йому доступних.

СКБД Neo4j підтримує декларативну мову запитів до графа Cypher, синтаксис якої дещо схожий на мову SQL. Ця мова дає змогу створювати, робити вибірки, оновлення та вилучення даних. Крім того, за допомогою мови Cypher можна проводити операції впорядкування, агрегування, пропуску та обмеження даних.

Основною моделі бази даних Neo4j є орієнтований граф, який вміщує такі елементи:

- вузли (nodes), що вміщують інформацію про певні сутності предметної області;
- поіменовані та орієнтовані дуги (relationships), які характеризують зв'язки між вузлами;
- вузол може мати кілька рекурсивних зв'язків;
- вузли мають властивості (properties), їх можна розглядати як документи, які характеризуються парами властивостей «ключ-значення»;
- вузли можуть бути поміченими однією чи кількома мітками (labels), які вказують на їх роль у наборі даних і за допомогою яких можна групувати вузли. Вузли, які помічені однією міткою, належать до одного набору даних.

Neo4j підтримує такі типи даних: булеві змінні (Bool), байт (byte), короткі цілі числа зі знаком (short), цілі числа зі знаком (Int), довгі числа зі знаком (long), числа з плаваючою комою (float), числа подвійної точності з плаваючою комою (double), символні типи й текстові ланцюжки. У СКБД Neo4j є функція для пошуку найкоротшого шляху, при цьому є можливість вибору одного з алгоритмів, які можуть вирішувати цю задачу: алгоритм Дейкстри, алгоритм А* (A-star) та ін.

Починаючи з версії Neo4j 1.3, система може підтримувати граф розміром до 32 мільярдів вузлів і 64 мільярдів властивостей. Потреба в масштабованих рішеннях, які надавали б переваги баз даних NoSQL, спонукали провідних розробників класичних реляційних баз даних до розробки нових продуктів, які підтри-

мують бази даних NoSQL. Компанія ORACLE розробила розподілену базу даних Oracle NoSQL Database 3.0 типу «ключ-значення», яка призначена для масштабування веб-додатків [10]. Компанія IBM DB2 має розробки, які підтримують сховище на основі NoSQL-графа [8].

Компанія Microsoft у версії СКБД SQL Server 2016 запропонувала низку функцій, що реалізують гібридний підхід, який дає змогу перетворювати реляційні таблиці в нереляційні об'єкти JSON СКБД Azure SQL Database, і навпаки [15]. Крім того, Microsoft розробила базу даних NoSQL DocumentDB [20].

Для можливості горизонтального масштабування без відмови від підтримки транзакцій і мови SQL використовується нова концепція побудови баз даних, яка дістала назву NewSQL. Ця назва була запропонована аналітиком 451 Group Метью Аслеттом (Matthew Aslett) у 2011 році для нового класу розподілених високопродуктивних систем, що масштабуються мають у своєму арсеналі мову SQL і підтримують ACID-транзакції [35]. Дуже часто такі системи ще називають Scalable SQL, чим підкреслюють їх відмінність від класичних односерверних реляційних СКБД.

Необхідність розробки таких баз даних зумовлена вимогами деяких OLTP-задач (Online Transaction Processing), які потребують обробки великих обсягів даних і масштабування, але для яких не може бути прийнятною слабка узгодженість даних NewSQL. Ці системи приблизно в 50 разів перевищують швидкість традиційних баз даних OLTP-систем [35].

NewSQL-системи поділяють на такі групи [35, 36]:

- 1) системи с новими архітектурами;
- 2) нові SQL-двигуни для зберігання даних MySQL;
- 3) прозорі кластери.

Системи с новими архітектурами є найбільш популярними, вони побудовані на нових платформах для зберігання даних і відразу створювались з урахування розподіленої архітектури й роботи з кластерами. Бази даних цього класу для підвищення швидкості оброблення даних використовують оперативну пам'ять чи нові типи дисків (флеш-пам'ять/SSD) для зберігання первинних даних. Системи, що використовують оперативну пам'ять для зберігання даних дістали назву In-memory СУБД [1]. In-memory-системи характеризуються значно більшою продуктивністю, позаяк процесор значно швидше працює з ОЗУ, ніж з дисковою пам'яттю. Появі БД, що зберігаються в оперативній пам'яті, сприяла тенденція до зниження вартості ОЗУ, що намітилась у середині 2000-х років, і розвиток багатоядерних процесорів.

Недостатність пам'яті ОЗУ одного комп'ютера компенсується об'єднанням їх у кластери. Оперативна пам'ять є енергозалежною, тому для запобігання втрати даних, що зберігаються в ОЗУ, СКБД з новою архітектурою підтримують ведення журналу операцій і з певною періодичністю копіюють базу на диски.

Прикладами таких систем є: Spanner, Clustrix, OrientDB, VoltDB, MemSQL, SQLFire і GemFire XD від Pivotal, SAP HANA, FoundationDB, NuoDB, TransLattice, ActorDB, Trafodion, CockroachDB та інші. Ці СКБД об'єднали в собі кращі сторони NoSQL-систем і класичних реляційних баз даних. Їх переваги — у вищій продуктивності та більшій швидкості відгуку, яка, за оцінками розробників, у кілька разів більша, ніж у традиційних розподілених СКБД.

Нові SQL-двигуни для зберігання даних MySQL. Для реалізації горизонтального масштабування MySQL розроблені набори движків зберігання, які включають Xeround, Akiban, кластер MySQL NDB, GenieDB, Tokutek та ін. Так, двигун MySQL Cluster розподіляє дані між множиною серверів, підтримує архітектуру shared nothing, а дані можуть знаходитись в оперативній пам'яті чи на дисках. У MySQL Cluster реалізований механізм синхронної реплікації, який забезпечує масштабування, але значно менших масштабах, ніж це можливо в системах NoSQL.

Прозорі кластери — це системи для масштабування поверх традиційних СКБД, які забезпечують проміжний шар (middleware), для автоматичного розподілу баз даних на кілька вузлів. При цьому база даних зберігається в своєму початковому форматі та забезпечує можливість прозорого її підключення до кластера, щоб забезпечити масштабованість. Приклади таких систем: ScalArc, Schooner MySQL, dbShards та ScaleBase (комерційні) і Continuent Tungsten (з відкритим кодом).

Продуктивність таких рішень менша, ніж систем з новими архітектурами, але перевагою їх є те, що вони не потребують модифікації існуючих раніше розроблених додатків.

Проаналізувавши основні тенденції у розвитку баз даних і СКБД, можна дійти висновку, що на сьогодні не існує універсальної, інтегрованої системи, що могла б задовольнити всім вимогам. Тому для OLTP-систем, які потребують підтримку транзакцій, підходять класичні реляційні СКБД для централізованого оброблення даних і системи NewSQL для оброблення надвеликих розподілених даних. Для зберігання та оброблення розподілених, неструктурованих WEB-орієнтованих даних найоптимальнішими є бази даних NoSQL.

Література

1. Базы данных в оперативной памяти // Википедия, свободная энциклопедия. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/In-memory_database
2. *Джигнеш Пател*. Операционные СУБД NoSQL: сегодня и завтра // Открытые системы — 2016. — № 3. <https://www.osp.ru/os/2016/03/13050248/>
3. *Дейт К. Дж.* Введение в системы баз данных: Пер. с англ. — 6-е изд — К.: Диалектика, 1998. — 784 с.
4. Інформаційні системи в економіці: Монографія / За заг. ред. С. В. Устенка. — К.: КНЕУ, 2012. — 425 с.
5. *Коннолли Т., Бегг К., Страчан А.* Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. Учеб. Пособие. — 2-е изд.: Пер. с англ.: М.: Изд. дом «Вильямс», 2000. — 1120 с.
6. *Кузнецов С. Д., Посконин А. В.* Распределенные горизонтально масштабируемые решения для управления данными. http://www.ispras.ru/proceedings/docs/2013/24/isp_24_2013_327.pdf
7. *Мартин Дж.* Организация баз данных в вычислительных системах: Пер. с англ. — М.: Мир, 1980. — 662 с.
8. Обеспечение масштабируемости данных облачного уровня с помощью баз данных типа NoSQL <http://www.interface.ru/home.asp?artId=35468> (DB2)
9. Онлайн-руководство по MongoDB <https://metanit.com/nosql/mongodb/>
10. Oracle выпускает Oracle NoSQL Database 3.0 <https://www.oracle.com/ru/corporate/pressrelease/2-17538.html>
11. Прес-реліз компанії DELL EMC <https://ukraine.emc.com/about/news/press/2012/20121211-01.htm>
12. Рейтинг DB-Engines . <https://db-engines.com/en/ranking>
13. *Редмонд Уилсон*: Семь баз данных за семь недель. Введение в современные базы данных и идеологию NoSQL. — М.: ДМК-Пресс, 2017. — 384 с.
14. *Робинсон Ян, Вебер Джим, Эйфрем Эмиль*. Графовые базы данных: новые возможности для работы со связанными данными: Пер. с англ. — 2-е изд. Р. Н. Рагимова; Науч. ред. А. Н. Кисилев. — М.: ДМК Пресс, 2016. — 256 с.
15. Реляційний підхід до NoSQL <https://blogs.msdn.microsoft.com/sqlserverstorageengine/2015/09/01/combining-relational-and-nosql-concepts-in-sql-server/ON>.
16. Руководство по MongoDB (полная версия) <http://proselyte.net/tutorials/mongodb/>

17. Фаулер, Мартин, Садаладж, Прамодкумар Дж. NoSQL: новая методология разработки нереляционных баз данных: Пер. с англ. — М.: Изд. дом Вильямс, 2013. — 192 с.
18. Шардирование баз данных <https://ru.dmstu.wiki/> Шардирование баз данных
19. Apache Cassandra <http://cassandra.apache.org/>
20. DocumentDB: база данных NoSQL от Microsoft <http://habrahabr.ru/hjst/234233>
21. CAP Theorem within NoSQL <http://developerjam.blogspot.com/2013/09/cap-theorem-within-nosql.html>
22. C. Strauch .NoSQL Databases <http://www.christof-strauch.de/nosql dbs.pdf>
23. C. Strozzi. NoSQL: A Relational Database Management System http://www.strozzi.it/cgibin/CSA/tw7/I/en_US/nosql/Home%20Page
24. E. Brewer «Towards Robust Distributed Systems» в ACM Symposium on the Principles of Distributed Computing, Portland, Oregon, 2000. <http://www.cs.berkeley.edu/~brewer/cs262b-2004/PODC-keynote.pdf>
25. Graph Databases <https://neo4j.com/product/>
26. Karl Seguin. The Little MjogoDB Book <http://jsman.ru/mongo-book/index.html>
27. NewSQL — Википедия <https://ru.wikipedia.org/wiki/NewSQL>
28. R. Cattell Scalable SQL and NoSQL Data Stores <http://www.cattell.net/datastores/Datastores.pdf>
29. Redis <http://redis.io/documentation>
30. MongoDB Production Deployments: <http://www.mongodb.org/about/production-deployments/>
31. Nathan Hurst. Visual Guide to NoSQL Systems <http://blog.nahurst.com/visual-guide-to-nosql-systems>
32. NoSQL базы данных: понимаем суть <http://habrahabr.ru/post/152477>
33. List of NoSQL databases <http://nosql-database.org/>
34. Oracle выпускает Oracle NoSQL Database 3.0 <https://www.oracle.com/ru/corporate/pressrelease/2-17538.html>
35. P. Venkatesh NewSQL — The New Way to Handle Big Data <http://opensourceforu.com/2012/01/newsq l-handle-big-data/>
36. P. Campaniello. The NewSQL Market Breakdown <http://www.scalebase.com/the-story-of-newsq l/>
37. Theo Haerder, Andreas Reuter. Principles of transaction-oriented database recovery. ACM Computing Surveys, Volume 15, Issue 4, December 1983, Pp. 287–317 <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=291>
38. The Neo4j Developer Manual v3.3 <http://neo4j.com/docs/developer-manual/current/introduction/>

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙНУ

Технологія блокчейну виникла відносно недавно, одночасно з появою перших проектів криптовалют, проте останнім часом вона швидко розвивається, знаходячи своє застосування в різноманітних галузях.

Блокчейн — це захищений від підробки та змін загальнодоступний цифровий реєстр, створений для обліку транзакцій у публічній або тимчасово закритій мережі. Реєстр розподілений між вузлами однорангової мережі та безперервно накопичує відомості про операції з активами, об'єднуючи їх у блоки. Блоки транзакцій після перевірки поєднуються в ланцюжок посиленнями на попередній блок хеш-дерева, звідки й походить назва технології — блокчейн (англ. Block chain — ланцюжок блоків). Таким чином забезпечується незмінність і достовірність блокчейну як джерела даних [1–4].

Розглянемо особливості технології блокчейну на прикладі двох найвідоміших проектів — Bitcoin та Ethereum.

1. Реалізація технології блокчейну в проекті платіжної системи Bitcoin

Уперше блокчейн був представлений 31 жовтня 2008 році в статті Сатоші Накамото «Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System», у якій автор описав пірінгову платіжну систему Bitcoin, яка використовує відповідну грошову одиницю (криптовалюту біткоїн) і побудована на основі технології блокчейну [2]. За цією технологією дані про транзакції з криптовалютою зберігались у спеціальному реєстрі — блокчейні, який забезпечував захист і достовірність даних, а також авторизацію учасників транзакцій. Блокчейн біткоїну має такі характеристики:

- незмінюваність реєстру;
- децентралізація реєстру;
- відкритість для всіх користувачів;
- рівні права учасників;
- відсутність централізованого управління;
- відсутність поняття «балансу»;
- зв'язна блочна структура;
- використання алгоритму POW (Proof-of-Work) для досягнення консенсусу між учасниками;
- криптографічний захист транзакцій.

Розглянемо їх докладніше.

За своєю структурою блокчейн — це ланцюжок блоків, тобто набір пов'язаних між собою блоків даних, які створюються та зберігаються на комп'ютерах учасників ланцюжка. Усі учасники мережі поділяються на дві категорії: звичайні учасники, які створюють нові транзакції, і майнери, які об'єднують транзакції в блоки й надсилають їх у блокчейн. Кожен блок містить мітку часу його запису в реєстр. У такому реєстрі кожний наступний запис (блок) посиляється на один попередній і так ланцюжком до найпершого. Захист від змін забезпечується функцією хешування (хеш SHA-256), причому для більшої безпеки хеш розраховується для кожного блока разом з хешем від попереднього блока. Таким чином усі записи реєстру залежать від попередніх. У разі зміни хоча б одного блока такого зв'язного списку необхідно перераховувати хеші всіх наступних блоків.

Блокчейн являє собою децентралізований реєстр, у якому немає спеціального вузла, який би вирішував питання прав доступу й збереження даних. У такій мережі учасники не можуть довіряти один одному, тому для забезпечення достовірності даних копії всього реєстру зберігаються у кожного учасника. Вадю такого підходу є те, що для долучення до реєстру нових записів необхідно вносити зміни до всіх вузлів.

Для авторизації (перевірки наявності коштів) під час транзакції в блокчейні використовується підхід асиметричного шифрування з публічними й приватними ключами. Транзакцію шифрують приватним ключем і разом з публічним ключем передають у сховище неперевіраних транзакцій. Далі ці транзакції контролюються на наявність коштів, і з них формуються блоки транзакцій під час майнінгу біткоїнів. Публічний ключ і є номером гаманця криптовалюти, а приватний ключ підтверджує приналежність гаманця певному учаснику. У такий спосіб учасники мережі можуть перевірити платоспроможність ініціатора транзакції та убезпечити операції в мережі [1–4].

Блокчейн біткоїну не містить інформації про баланси рахунків учасників і складається тільки з історії транзакцій, тобто операцій руху криптовалюти від одного до іншого учасника. Але іншим учасникам мережі перед здійсненням транзакції необхідно переконатися, що в ініціатора витрати є достатня кількість криптовалюти для цієї операції. Цю інформацію має доводити сам ініціатор транзакції. Тому в транзакцію блокчейну входить не тільки підпис і сума, яку бажає витратити учасник, а й посилання на попередні транзакції, у яких він отримав необхідну кількість

грошей. Таким чином, якщо учасник хоче витратити певну суму, він переглядає свою історію доходів і витрат і приєднує до своєї транзакції ті доходи, які разом становлять необхідну суму. Інші учасники мережі перевіряють, чи не були витрачені згадані доходи до моменту початку операції. Такі доходи, приєднані до транзакції в блокчейні, називаються «входами» (input), а всі отримувачі грошей — «виходами» (output). Якщо сума всіх «входів» перевищує суму, яку необхідно перевести за один раз, то повернути решту можна, указавши одним з «виходів» самого ініціатора витрат. Для виплати учасник може використовувати кошти не одного, а кількох гаманців. Для цього достатньо вказати приватні ключі всіх «входів», приєднаних до транзакції. Додатково з цієї решти криптовалюти ще можна вказати комісію за транзакцію, щоб майнери активніше її додавали в блоки під час подальшого майнінгу криптовалюти. Тоді майнер отримає свої комісійні, а учасник трохи менше повернення решти.

Простота використання приватних ключів для авторизації гаманців учасників блокчейну має і свої негативні аспекти. У разі втрати такого ключа біткоїні гаманця неможливо буде відновити.

Додавання транзакцій з пулу непідтверджених транзакцій до блокчейну відбувається не безпосередньо, а після об'єднання їх у блоки. Кожен майнер у мережі обирає найбільш привабливі транзакції із загального пулу непідтверджених транзакцій. Зазвичай це транзакції з найбільшою комісією. Відбір транзакцій здійснюється до досягнення певного сумарного об'єму — розміру блока. Розмір блока обмежений 1 Мб у біткоїні та може досягати 8 Мб у деяких інших криптовалютах.

У мережах на зразок Ethereum кількість транзакцій у блоці залежить від складності обчислень включених у них смарт-контрактів. Далі комп'ютер виконує хешування відібраних з пулу транзакцій за деревоподібною структурою (Merkle Tree, дерево Меркла): спочатку розраховує хеші всіх пар транзакцій, потім хеші всіх пар результатів і так доти, поки не залишиться один хеш, який відповідає кореню дерева й додається в блок. Таким чином, транзакції в блоці також утворюють список, який неможливо підробити.

На комп'ютері майнера, як і на інших у мережі блокчейну, зберігається копія актуального реєстру. Отже, для додавання блоку в реєстр майнеру необхідно додати посилання на останній блок реєстру в заголовок нового блока, хешувати новий блок разом з посиланням і повідомити інші комп'ютери мережі про створення нового блока й готовність додати його до блокчейну. Відповідно, решта комп'ютерів у мережі мала б проконтролю-

вати правильність побудови блока, а потім додати його до себе в блокчейн. Проте проблема полягає в тому, що в мережі над утворенням блоків постійно працює дуже велика кількість комп'ютерів, і щойно складуть новий блок, майнери майже одночасно повідомлять про це всім учасникам. З'ясувати, хто дійсно був першим, у децентралізованій мережі неможливо.

Для подолання згаданої проблеми Сатоші Накамото запропонував надати право на додавання блока до блокчейну тому комп'ютеру, який першим розв'яже певне складне завдання, яке забере в усіх комп'ютерів певний час.

У мережі біткоіну — це помістити наприкінці блока таке число (nonce), щоб розрахований для цього блока хеш SHA-256 був менше певного встановленого числа. Результатний хеш починається на 10 або більше нулів і може бути перевірений навіть візуально. У самому цьому завданні немає ніякого спеціального сенсу. Воно було обране тому, що це одне з тих завдань, яке завжди має рішення, але рішення не може бути знайдене швидше, ніж у процесі тривалого перебору варіантів. У цьому й полягає поняття майнінгу криптовалюти. За знаходження рішення майнер (за даними 2018 року) отримує 12.5 BTC (біткоїнів). Проте гарантована системою сума винагороди за майнінг має зменшуватись кожні чотири роки. За умовами функціонування системи, загальна кількість біткоїнів у світі не може перевищувати 21 млн, наразі в результаті майнінгу в системі згенеровано понад 17 млн BTC (рис. 1).

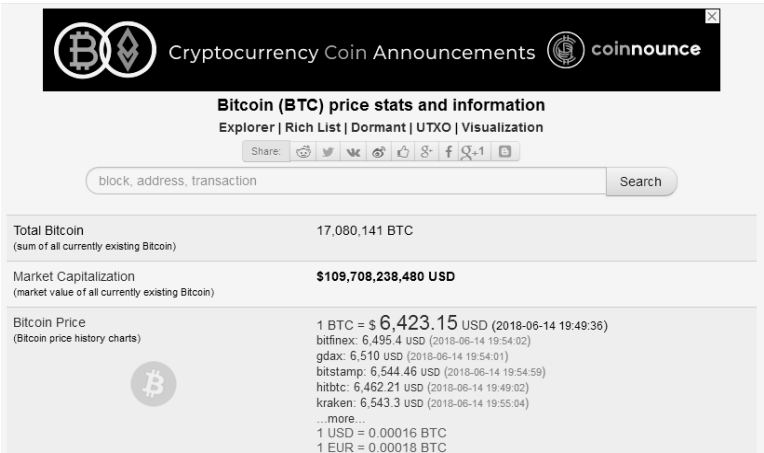


Рис. 1. Статистичні дані майнінгу біткоїнів
(<https://bitinfocharts.com/bitcoin/>)

Для пошуку хешу, який починається на 10 нулів, одному комп'ютеру потрібно не менше кількох десятків років. Але тисячі комп'ютерів, об'єднані в єдину мережу, можуть вирішити це завдання приблизно за 10 хвилин, що становить середній час формування нового блока в мережі біткоїнів (рис. 2).



Рис. 2. Статистичні дані майнінгу біткоїнів
(<https://bitinfocharts.com/bitcoin/>)

Результат блокування транзакцій демонструє сайт <https://live.blockcypher.com/btc/block/00000000000000000003f9b5d372cse4b117bb7a8e24a9f094d8a395276fc59ef/>, на якому показано блоки транзакцій з 18 нулями на початку хешу, розмір блока, число попсе, а також транзакції з «входами» і «виходами» (рис. 3 і 4).

Описаний вище вид майнінгу має назву Proof-of-Work (доказ роботи), тобто кожний комп'ютер доводить, що він працював на користь мережі й вирішує завдання із заданою вірогідністю.

Але в блокчейнах можливі й інші концепції майнінгу. Наприклад, другий за популярністю підхід — це Proof-of-Stake (доказ частки володіння). Такий тип майнінгу передбачає: чим більше криптовалюти має учасник мережі на своєму рахунку, тим більше його можливості додати свій блок до блокчейну.

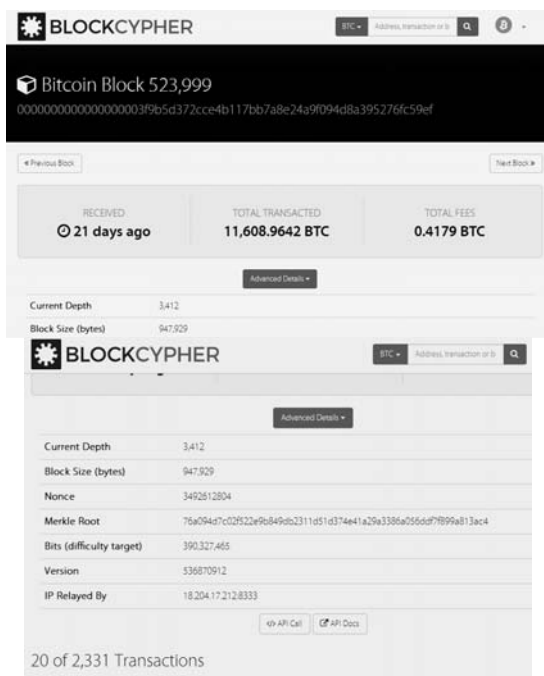


Рис. 3. Характеристики блока біткоїнів

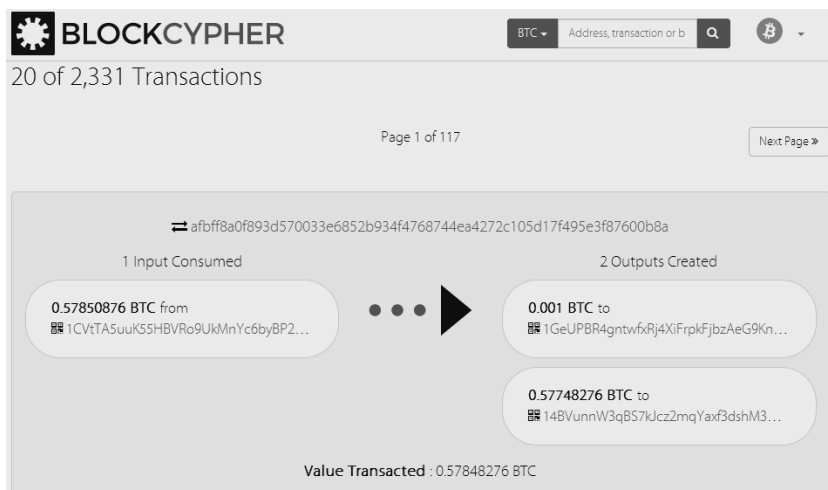


Рис. 4. Транзакції в складі блока біткоїнів

2. Реалізація технології блокчейну в проєкті Ethereum

Ethereum (від англ. *ether* — «ефір»), Ефіріум — платформа для створення децентралізованих он-лайн-сервісів на базі блокчейну, що працюють на основі розумних контрактів [5]. Ethereum вперше був описаний В. Бутерінім наприкінці 2013 року й реалізований 30 липня 2015 року. Оскільки Ethereum суттєво спрощує і здешевлює використання блокчейну, його впроваджують корпорації Microsoft, IBM, Acronis, банківський консорціум R3 та ін. [5].

Ethereum, як і біткоїн, ґрунтується на технології блокчейну, але призначений для вирішення ширшого класу завдань — не лише підтримки переказів криптовалюти, а й надання умов створення, зберігання та виконання будь-яких угод. Угоди можуть стосуватись, зокрема, голосування, грошового перепланування, сліпих аукціонів, мультипідписних гаманців тощо. Такі угоди творчі Ethereum назвали смарт-контрактами.

Внутрішня валюта платформи називається ether, або Ефір, скорочене позначення — ETH. Ефіри застосовуються не лише як розрахункова одиниця в мережі Ethereum, а й як гарантія виконання смарт-контрактів.

Смарт-контракти реалізуються на мові Solidity, яка є спеціально розробленою високорівневою мовою програмування для написання інтелектуальних контрактів. Синтаксис мови дуже схожий на JavaScript, але розроблений під Ethereum Virtual Machine. Solidity, серед інших функцій, підтримує складні користувацькі типи, функції, умови, цикли, успадкування, бібліотеки.

Гнучкість та ефективність роботи платформи забезпечує віртуальна машина Ethereum (EVM). Вона являє собою машину Тьюрінга й компілює смарт-контракти в байт-код перед їх подальшим відправленням у блокчейн. Тут також використовуються цикли, що гарантує виконання практично будь-яких операцій за смарт-контрактами. Потенційно «нескінченні» цикли відсіваються платформою через механізм оплати [5].

За виконання операцій у смарт-контракті (умов, порівнянь, викликів функцій) в Ethereum стягується оплата. Кожна операція всередині віртуальної машини має свою «ціну». Обидва учасники контракту платять за свої виклики майнеру. Для цього в Ethereum використовується спеціальна одиниця Газ (Gas), яка дорівнює невеликій частці Ефіру (ETH).

Gas — термін, введений для позначення плати за виконання транзакції її відправником. Назва являє собою алюзію на паливо, тобто криптопаливо для смарт-контрактів, яке слугує запобіганням

спауму або неякісно створеним контрактам. Транзакція з виклику функції смарт-контракту має включати певну кількість Газу. Кожен рядок коду контракту витрачає цю додану до транзакції валюту. Реальна ж валюта надається як комісія тому майнеру, який знайде блок для занесення в блокчейн Ethereum.

Якщо Газ закінчується до завершення виконання контракту, то робота коду припиняється й транзакція анулюється. Навпаки, якщо Газ залишився після успішного виконання коду, він повертається відправнику як решта.

Blockchain Ethereum. по суті, є транзакційно-орієнтованою машиною станів (transaction-based state machine). Глобальний загальний стан Ethereum складається з множини невеликих об'єктів акаунтів (облікових записів), які можуть взаємодіяти один з одним через інфраструктуру передачі повідомлень. У кожного акаунта є пов'язаний з ним стан і 20-байтова адреса. Адреса в Ethereum — це 160-бітний ідентифікатор, який використовується для ідентифікації будь-якого облікового запису [5].

Існує два типи акаунтів: класичні гаманці користувачів у Ethereum називають зовнішніми акаунтами (externally owned account), а створені в мережі смарт-контракти — контрактними акаунтами (contract account). Відмінності між ними наведено в табл. 1.

Таблиця 1

ПОРІВНЯННЯ ДВОХ ВИДІВ АКАУНТІВ ETHEREUM

Гаманець користувача	Смарт-контракт
Гаманцем керують за допомогою приватних ключів	Смарт-контрактом керує його власний код
Може створювати транзакції	Може створювати транзакції лише у відповідь на входні транзакції
Може зберігати валюту на балансі. Розпоряджається нею власник акаунта	Може зберігати валюту на балансі. Розпоряджається нею алгоритм самого контракту

Взаємодія з обома типами акаунтів здійснюється за допомогою транзакцій.

Транзакція на гаманець користувача здійснюється для переказу коштів аналогічно мережі біткоїну. Транзакція включає в себе кількість перераховуваних ЕТН й адресу одержувача.

Транзакція на контракт, яку ще називають «повідомленням», — це виклик його методу. У неї, крім кількості та адреси контра-

кту, включаються ще й додаткові параметри виклику і Газ за виконання коду.

Транзакція без одержувача — це створення смарт-контракту. У такій транзакції обов'язково потрібно передати скопійований байт-код контракту і Газ за виконання коду створення контракту (по суті, конструктора).

На відміну від блокчейну Bitcoin, який складався з ланцюжка всіх змін — історії транзакцій, блокчейн Ethereum являє собою ланцюжок станів, тобто поточних балансів гаманців і даних контрактів.

У Ethereum до блокчейну було додане сховище (storage), або репозиторій, у який вносить зміни кожна транзакція. Це сховище реалізоване як дерево Patricia Merkle Tree. Як і в дереві Меркла (Merkle Tree), дані в ньому хешуються попарно, поки не буде отримано один головний хеш — хеш кореня дерева. Цей хеш включається в кожний новий блок. У Ethereum використовується хеш *KECCAK-256*.

Порівняно з Bitcoin, відбулися зміни й у змісті транзакцій. Транзакція в біткоїні складається з п'яти головних елементів:

- адреса отримувача;
- сума BTC, що надсилається;
- список input на цю суму;
- розмір комісії;
- публічний ключ для перевірки підпису.

Транзакції Ethereum успадковують цю логіку, але частково змінюють склад транзакцій:

- адреса отримувача;
- сума переказу;
- ліміт і ціна Газу (валюти за виконання коду);
- код контракту (використовується лише при створенні контракту);
- дані для виклику контракту;
- дані для перевірки підпису.

Ліміт Газу (Gas Limit) — кількість одиниць Газу, якою оплачується виконання кожного рядка у смарт-контрактах, запис нових даних у сховище системи, а також сам виклик смарт-контракту.

Ціна Газу (Gas Price) — це ціна однієї одиниці Газу. Цей параметр дає змогу встановити більш високу або низьку ціну за кожну операцію. Підвищуючи Gas Price щодо його ринкової вартості, можна мотивувати майнера швидше обробити транзакцію.

Блокчейн Ethereum, як і в Bitcoin, складається з блоків, проте блоки Ethereum мають суттєві відмінності.

У блок Ethereum завжди додається хеш від усього поточного сховища, який відображає точний стан системи на поточний момент: усі дані контрактів і баланси акаунтів. Цей хеш верифікується всіма учасниками мережі. Крім списку транзакцій, у блок додаються так звані «квитанції» (receipts), які відображають результати виконання кожної транзакції. Наприклад, у квитанції може бути записано, скільки Газу було витрачено на виконання коду контракту та яку суму повернуто як решту.

Майнери включають у новий блок не тільки посилання на його батьківський блок (parent block), а й список посилань на блоки, чий батько дорівнює батькові батька поточного блока. Їх умовно називають «дядьками» (ommers). Структуру блока Ethereum зображено на рис. 5.

Заголовок блока включає в себе:

- parentHash: хеш заголовка батьківського блока (який з'єднує блоки в «ланцюжок»);
- omersHash: хеш списку поточних блоків omers (дядьків);
- beneficiary: адреса акаунта, який отримує плату за майнінг цього блока;
- stateRoot: хеш кореневого вузла дерева станів;
- transactionRoot: хеш кореневого вузла дерева, яке містить всі транзакції, що знаходяться в цьому блоці;
- receiptsRoot: хеш кореневого вузла дерева, яке містить квитанції (надходження) усіх транзакцій, проведених у цьому блоці;
- logsBloom: фільтр Bloom (структура даних), який складається з логів інформації;
- difficulty: рівень складності цього блока;
- number: лічильник поточного блока (номер блоку збільшується на 1 для кожного наступного блока);
- gasLimit: поточний ліміт Газу на блок;
- gasUsed: загальна сума Газу, використаного транзакціями в цьому блоці;
- timestamp: часова відмітка створення цього блока;
- extraData: додаткові дані, що стосуються цієї блока;
- mixHash: хеш, який в поєднанні з nonce доводить, що цей блок виконав достатні обчислення;
- nonce: хеш, який у поєднанні з mixHash доводить, що цей блок виконав достатні обчислення.

Заголовок блока

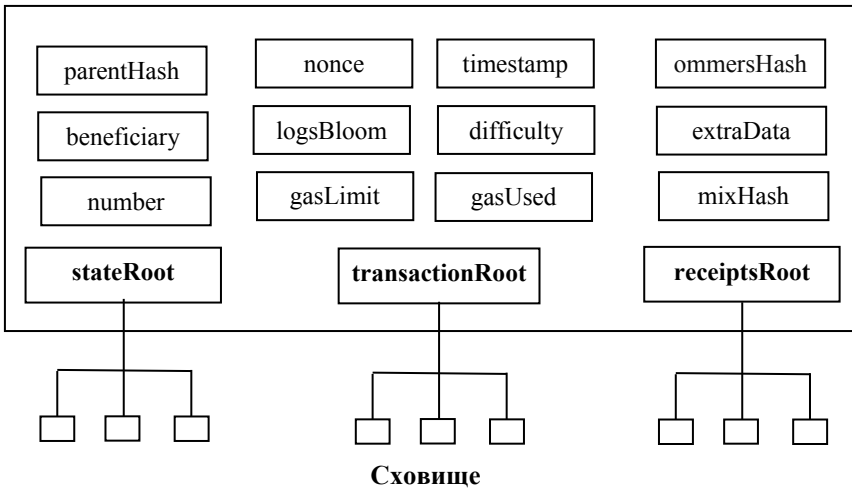


Рис. 5. Структура блока Ethereum

Кожен блок складається з трьох різних структур дерев Patricia Merkle Tree, включаючи:

- дерево станів (State tree);
- дерево транзакцій (Transactions tree);
- дерево квитанцій (надходжень) (Receipts tree).

Подібно до мережі Bitcoin, для того, щоб транзакція вважалася дійсною, вона має пройти валідацію у процесі майнінгу (mining). Під час майнінгу комп'ютери в мережі (майнери) витрачають свої обчислювальні ресурси для створення блока транзакцій з метою відправки його в блокчейн і отримання нагороди та комісійних. У цьому процесі одночасно беруть участь багато майнерів, намагаючись раніше за інших знайти математичний доказ дійсності блока за принципом Proof-of-Work. Якщо в Bitcoin цей процес займає близько 10 хвилин, то в Ethereum складність підрахунку є меншою, пошук доказу відбувається швидше, і новий блок у блокчейн записується приблизно кожні 15 секунд. Щоразу, коли майнер формує валідний блок і надсилає його в блокчейн, для нього генеруються нові маркери Ефіру (ETH).

У Ethereum у процесі майнінгу потрібно не лише добирати хеші, а й виконувати код смарт-контрактів. Через те, що час формування блоку в Ethereum доволі малий, існує можливість появи

в блокчейні конкуруючих блоків, знайдених майнерами. Ці блоки відгалужені від основного ланцюжка й можуть не мати нащадків. Щоб не залишити майнерів без винагороди за такі блоки, введено поняття «дядьків» (ommers).

Ommeg — це блок, чий батько дорівнює батьківському елементу поточного блока. За такі блоки майнери отримують меншу винагороду, ніж за блок у головному ланцюжку, проте вони все ж таки не позбавлені доходу. Головна умова додавання ommer до блокчейну полягає у тому, що цей блок має бути згенеровано не раніше шостого предка поточного блоку, інакше включення старих транзакцій може дуже ускладнити блокчейн.

У майбутньому в Ethereum планують відмовитись від майнінгу за принципом Proof-of-Work на користь принципу Proof-of-Stake. Це пов'язане з тим, що Proof-of-Work-майнінг потребує постійного нарощування обчислювальних ресурсів. За другого підходу право на додавання блока отримує той майнер, у якого на рахунку зафіксовано більшу суму криптовалют.

3. Проблеми проектування блокчейн-додатків

Потенційні можливості технології блокчейну не обмежені сферою криптовалют. Блокчейн-реєстри можуть містити дані про права власності на землю, кредити, митні декларації, вантажоперевезення, ідентифікаційні відомості та ін. Ця технологія доволі нова, проте сфера її застосування швидко зростає.

Визначимо особливості технології блокчейну, які зумовлюють її придатність для використання в різноманітних соціально-економічних галузях.

Децентралізована однорангова блокчейн-мережа забезпечує для всіх учасників єдиний протокол підключення та підтримує їх рівні права, захищаючи базову інфраструктуру реєстру від можливих дестабілізуючих дій. Учасниками блокчейну можуть бути фізичні особи, державні структури, представники бізнесу тощо. Система в хронологічному порядку записує проведені транзакції, дійсність яких визнано всіма вузлами мережі за допомогою обраної моделі консенсусу.

Блокчейн-мережа не потребує посередників для проведення транзакцій та узгодження вмісту реєстру. Якщо в традиційних реєстрах функцію контролю покладено на повноважні органи, наприклад, фінансово-кредитні установи або державні структури, то в блокчейн-мережі для цього використовують спеціальні алгоритми консенсусу. Механізм консенсусу гарантує, що розподілені реєстри є точними копіями, і знижує ризик появи шахрайських транзакцій.

Криптографічні алгоритми хешування, такі як SHA-256, КЕССАК та інші, гарантують відсутність втручань у блокчейн з метою фальшування даних транзакцій. Хеші в блокчейні розраховуються зазвичай для двох сусідніх блоків, тобто при розрахунку хешу поточного блока до його даних додається хеш попереднього блока. Будь-яка зміна вхідних даних транзакцій приводить до появи іншого значення хешу, тому кожний учасник може самостійно перевірити достовірність даних блокчейну, перерахувавши хеші блоків у ланцюжку.

Асиметрична система шифрування використовується в блокчейні для забезпечення цілісності транзакції та передачі її параметрів. Система приватних і публічних ключів гарантує, що транзакції здійснюються легітимними відправниками, а не злоумисниками.

Поширення технології блокчейну з галузі криптовалют на інші галузі зумовило потребу в нових підходах до його організації. Виникли нові види блокчейну, які відрізнялись від класичного умовами доступу до реєстру, рівнем відкритості його даних, способами валідації нових записів у реєстрі тощо. Так, за доступністю реєстру даних для користувачів виокремлюють деякі види блокчейну.

Блокчейн без необхідності в дозволах (Permissionless Blockchain), або відкритий блокчейн, — це класичний вид блокчейну, на якому засновані біткоїн і Ефіріум. Цей вид блокчейну не має керуючого органу, який підтверджував би транзакції. Нові транзакції анонсуються у відкритій мережі, після чого учасники перевіряють і підтверджують їх. Ніхто з учасників не має переваг щодо підтвердження транзакцій. Цей вид блокчейну допускає часткову анонімність учасників і може використовуватись для збереження та захисту особливо важливої інформації.

Відкритий блокчейн з різним рівнем дозволів (Public Permissioned Blockchain). У цьому виді блокчейну транзакції підтверджують повноважні учасники: керівні органи або співробітники, державні установи. Користувачі мають можливість переглядати дані, проте особливо важлива інформація може бути прихована.

Закритий блокчейн з різним рівнем дозволів (Private Permissioned Blockchain). У такому блокчейні функції адміністрування та узгодження процедур здійснюються єдиним органом. Інформація реєстру є закритою для сторонніх осіб.

З погляду класичної технології, у двох останніх видах блокчейну відсутні такі принципові характеристики, як відкритість

для всіх користувачів, відсутність централізованого адміністративного органу, наявність рівних прав для кожного учасника.

Проте ці зміни викликані вмістом і метою створення блокчейну. Так, з причини захисту конфіденційних даних осіб не можна повністю відкрити доступ усім бажаючим до деяких особистих ідентифікаційних даних. Відомості про майнові права або вантажоперевезення не можуть бути верифіковані сторонніми користувачами мережі й потребують централізованого контролю.

Проектування блокчейн-додатків. Переваги технології блокчейну сприяють її швидкому розвитку й поширенню на різноманітні сфери застосування. Проте розроблення нових проєктів на блокчейні є доволі складною комплексною проблемою, яка вимагає розв'язання завдань організації роботи децентралізованих додатків, криптографії, створення інтелектуальних програмних модулів тощо. Сприятливіші умови для проєктування та реалізації нових блокчейн-проєктів забезпечують розвинуті багатофункціональні блокчейн-платформи.

Реалізація блокчейн-технології здебільшого здійснюється в моделі децентралізованого програмного додатку. Децентралізований програмний додаток Dapp (від англ. Decentralized Application) — це програмний додаток, якому притаманні певні характеристики. Назвемо їх.

1. Додаток має відкритий вихідний код, працює автономно і не має користувача, який би володів переважною кількістю його токенів. Додаток може адаптувати свій протокол згідно з пропозиціями користувачів і вимогами ринку, але згадані зміни мають прийматися на основі консенсусу всіх користувачів.

2. Для забезпечення безвідмовної роботи мережі дані та звіти з роботи децентралізованого додатку мають бути криптографічно захищені й зберігатись у публічному децентралізованому блокчейні.

3. Додаток використовує токени (криптовалюту) для доступу до додатку й нагородження майнерів.

4. Додаток генерує токени відповідно до стандартного криптографічного алгоритму консенсусу.

Нові блокчейн-додатки можуть створюватись для реалізації таких проєктів:

- створення нової криптовалюти;
- проведення первинного розміщення криптовалюти ICO (Initial Coin Offering);
- програмування смарт-контрактів;

– створення розподілених реєстрів у різноманітних галузях тощо.

Випуск нової криптовалюти може здійснюватись у формі монет або токенів. Монетою, або коїном (Coin), називається криптовалюта з власним блокчейном, яка була створена з нуля або розроблена на основі програмного коду вже існуючої криптовалюти, наприклад біткоїну або Ефіру.

Створення криптовалюти з власним блокчейном передбачає наявність власних вузлів для підтримки протоколу, спільноти користувачів і технічної команди. Для розроблення криптовалюти у вихідний код вносять необхідні зміни, виконуючи такі основні етапи проекту:

- компіляція ядра криптовалюти;
- компіляція гаманця для Windows і Linux;
- розгортання первинних вузлів;
- створення сайту для перегляду блокчейну (blockchain explorer);
- формування об'єднання майнерів (mining pool);
- компіляція мобільних гаманців (для iOS і Android).

Надалі для проведення обміну випущеної криптовалюти її необхідно додати в лістинг на біржу.

Токени (token) — це криптовалюта, побудована на базі існуючого блокчейну. Найчастіше для цього використовується блокчейн Ethereum. Щоб випустити свій токен, необхідно сформувати й зареєструвати смарт-контракт. Подібно до коїнів, токени також можуть мати лістинг на біржі, використовуватись як внутрішня валюта проектів або як засвідчувальний засіб.

Проведення первинного розміщення криптовалюти ICO (Initial Coin Offering) — це випуск монет або токенів і залучення майбутніх інвесторів для обміну випущеної криптовалюти на більш ліквідну, наприклад, біткоїн або Ефір. На основі опублікованого меморандуму (white paper) інвестори спрямовують кошти на рахунок відповідного розумного контракту, отримуючи натомість грошові знаки, які виконують роль акцій цього стартапу.

Проведення ICO передбачає виконання таких етапів:

- створення «білої книги» (White Paper);
- програмування смарт-контракту;
- розроблення прототипу продукту;
- розроблення сайту ICO;
- набір команди, залучення консультантів;
- проведення реклами та налаштування соціальних каналів;
- інтеграція з біржами.

Біла книга (White Paper) — офіційна довідкова документація, яка містить докладний опис проекту та обґрунтовує майбутнє зростання попиту на нові коїни або токени. Цей документ створюється засновниками проекту в тісній співпраці з юристами й покликаний переконати інвесторів вкласти свої кошти в нову криптовалюту.

Смарт-контракт розробляється в тому разі, якщо ICO передбачає випуск токена на основі Ethereum.

Прототип продукту MVP (англ. *Minimum viable product* — мінімально життєздатний продукт) необхідний для виявлення попиту на продукт до початку повномасштабної розробки з метою страхування від незатребуваності кінцевого продукту та втрати ресурсів. MVP передбачає підготовку найпростішого працездатного варіанта продукту.

Сайт ICO розробляється з метою інформування інвесторів про зміст проекту. Здебільшого використовуються англomовні сайти ICO з перекладом на 4–5 найпоширеніших мов.

Склад команди проекту та рівень консультантів впливають на кількість коштів, які вдасться зібрати. Чим сильнішим виглядає колектив розробників, тим більшого успіху ICO варто очікувати.

Реклама ICO передбачає підготовку рекламних матеріалів, взаємодію з рекламними майданчиками, реєстрацію на ICO-трекерах (Icoalert.com, Icorating.com, Icocountdown.com та ін.). Крім того, для взаємодії з користувачами потрібно налаштувати соціальні канали (Reddit, Medium, Telegram, Twitter, Facebook тощо).

Інтеграція з біржами необхідна для забезпечення можливості інвесторам продавати й обмінювати токени після проведення ICO.

Смарт-контракти (Smart Contracts) використовуються для тих видів діяльності, де можливе автоматизоване виконання зобов'язань сторонами без участі та оцінки людиною. Розумний контракт самостійно відстежує, чи були повною мірою виконані ті чи інші умови контракту. При цьому завдяки технології блокчейну код контракту захищений від будь-якого стороннього втручання — зловмисницької зміни умов контракту, укладеного між двома (або більше) людьми.

Створення розподілених реєстрів на базі блокчейну може здійснюватись для збереження важливих даних у різноманітних галузях. Технічна реалізація блокчейну потребує проектних рішень з таких ключових аспектів:

- побудова однорангової мережі;

- вибір протоколу розподіленого консенсусу;
- розроблення системи криптографічного захисту;
- вибір блокчейн-платформи;
- розроблення смарт-контрактів;
- тестування проекту.

Однорангова, децентралізована, або пірінгова (англ. *Peer-to-peer, P2P* — рівний до рівного) мережа — це комп'ютерна мережа, заснована на рівноправ'ї учасників. У такій мережі відсутні виділені сервери, а кожен вузол (peer) є як клієнтом, так і виконує функції сервера. У бізнесових і державних блокчейн-мережах можливі відхилення від принципу рівноправ'я, а вибір організації мережі здійснюється з чотирьох типів: блокчейн-консорціум, напівприватний, приватний або публічний блокчейн.

У *блокчейн-консорціумі* процес консенсусу контролюється певною групою, наприклад, групою корпорацій. Право читання блокчейну й відправки транзакцій може бути як публічним, так і обмеженим певним колом учасників. Блокчейн-консорціуми належать до закритих блокчейнів і найкраще підходять для використання в бізнесі.

Напівприватні блокчейни адмініструються окремою компанією, яка надає доступ користувачам відповідно до заданих критеріїв. Це закритий блокчейн, який не є децентралізованим, проте він привабливий для використання в бізнес-середовищі та в держструктурах.

Приватні блокчейни контролюються окремою організацією, яка визначає, хто може його читати, відправляти транзакції та брати участь у процесі консенсусу. Оскільки такі блокчейни повністю централізовані, вони мають обмежену сферу застосування.

У *публічному блокчейні* будь-яка особа може читати блокчейн, відправляти в нього транзакції та брати участь у процесі консенсусу. Такий блокчейн вважається відкритим. Усі транзакції є публічними, а користувачі можуть залишатися анонімними.

Протокол розподіленого консенсусу необхідно обрати для того, щоб установити правила, за якими блоки будуть додаватись у блокчейн, які блоки будуть вважатися дійсними та як будуть розв'язуватись конфлікти. Механізм консенсусу забезпечує достовірність та ідентичність примірників розподіленого реєстру.

Існує багато алгоритмів консенсусу, деякі з яких (як PoW або PoS) є відомими й широко використовуються, а інші лише починають користуватися популярністю [6].

Алгоритм консенсусу на базі доказу роботи *Proof-of-Work (PoW)* використовується в мережі біткоїну та є найвідомішим способом підтвердження транзакцій. Суність алгоритму полягає в тому, що вузли блокчейн-мережі, які підтверджують транзакції, виконують доволі складну обчислювальну роботу, результат якої можуть легко перевіряти інші вузли мережі. Вузол, який першим повністю провів усі необхідні обчислення, отримує винагороду від мережі. Вузли змагаються за винагороду, намагаючись пришвидшити розрахунки, що приводить до постійного нарощування ємності обчислювальних ресурсів.

Алгоритм консенсусу на базі доказу частки володіння *Proof-of-Stake (PoS)* — популярний алгоритм, у якому творцем наступного блока в блокчейні обирається вузол, який володіє більшим балансом, наприклад, кількістю монет у криптовалюті. Вузол отримує винагороду не за створення блока, а за проведення транзакції. Можливі й інші варіанти вибору вузла: випадковим чином з найбільш «багатих» вузлів або з найстаріших вузлів.

Алгоритм консенсусу на базі делегованого доказу частки володіння *Delegated Proof-of-Stake (DPoS)* — різновид алгоритму консенсусу *Proof-Of-Stake*, за якого блоки підписують обрані представники. Власники найбільших балансів висувають своїх представників, кожен з яких отримує право підписувати блоки в блокчейн-мережі. З представників формують раду, у якій кожен представник по черзі отримує право підпису наступного блока. У разі, якщо з якоїсь причини представник пропустив свою чергу в підписанні, він позбавляється делегованих голосів і залишає раду, після чого на його місце обирається наступний кандидат. Власники балансів, делегуючи свої голоси, не втрачають над ними контролю, і будь-коли можуть відкликати їх у свого представника.

Алгоритм консенсусу на базі орендованого доказу частки володіння *Leased Proof-of-Stake (LPoS)* — модифікація алгоритму *Proof-of-Stake*, згідно з якою будь-який користувач має можливість передавати свій баланс в оренду майнерам, за що останні діляться частиною прибутку з користувачами. Таким чином, цей алгоритм консенсусу дає змогу отримати дохід від майнінгової діяльності, не ведучи самого майнінгу. На сьогодні алгоритм підтримується платформою Waves.

Алгоритм консенсусу на базі доказу важливості *Proof-of-Importance (PoI)* — алгоритм, за якого значимість кожного користувача визначається на основі кількості коштів у нього на балансі й кількості транзакцій, проведених його гаманцем. На відміну

від алгоритму PoS, який враховує тільки баланс наявних коштів у користувача, PoI враховує як кількість коштів, так і активність користувача в блокчейн-мережі. Такий підхід стимулює користувачів не тільки накопичувати кошти в себе на рахунок, а й активно використовувати їх. Цей алгоритм консенсусу використовується блокчейн-платформою NEM.

Алгоритм консенсусу на базі доказу авторитету *Proof-of-Authority (PoAuthority)* — алгоритм відрізняється від інших тим, що для його роботи не потрібний майнінг. У блокчейн-мережі з алгоритмом консенсусу PoAuthority всі транзакції та блоки перевіряються за допомогою повноважних акаунтів (валідаторів). Проведення транзакцій і створення блоків проходить в автоматичному режимі за допомогою обчислювальних потужностей валідатора [6].

Система криптографічного захисту блокчейн-реєстру гарантує незмінність журналу транзакцій блокчейну, вирішує завдання аутентифікації та контролює доступ до мережі й даних у блокчейні загалом. Головні засоби криптографічного захисту блокчейну — це хеш-функції, ключі і цифрові підписи.

Хешування є процесом перетворення масиву вхідних даних у вихідний бітовий рядок фіксованої довжини. Хеш-функція на вході може приймати рядок з будь-якою кількістю знаків (один символ або цілий документ), а на виході отримувати — рядок зі строго визначеним числом символів. У криптографії хеш-функція має унеможливити колізії, тобто отримання однакових хешів за різних початкових даних, а також забезпечувати так званий ефект лавини, коли мінімальна зміна вхідних даних значно перетворює вихідне значення.

У блокчейнах хеш-функції гарантують «незворотність» усього ланцюжка транзакцій. Це забезпечується тим, що кожний новий блок транзакцій посиляється на хеш попереднього блока в реєстрі, утворюючи ланцюжок блоків. Хеш самого блока розраховується за деревоподібною структурою (дерево Меркла): спочатку хеш-функція визначається для кожної транзакції блока, потім для кожної пари хешів, отриманих на попередньому етапі, і так далі до вершини дерева.

Найчастіше в блокчейнах застосовуються хеш-функції сімейств криптографічних алгоритмів SHA-2 (зокрема, SHA-256) та SHA-3 (Кессак).

Система криптографії з *відкритими ключами* та *цифрові підписи* слугують у блокчейні для аутентифікації учасників та авторизації валютних коштів. Згадана система є асиметричною і

використовує два ключі. За допомогою закритого приватного ключа на транзакцію накладається електронний цифровий підпис, який можна перевірити відкритим ключем. Електронний цифровий підпис — це вид електронного підпису, отриманого за результатом криптографічного перетворення набору електронних даних, який додається до цього набору або логічно з ним поєднується й дає змогу підтвердити його цілісність та ідентифікувати підписувача.

Існують різні алгоритми криптографії з відкритим ключем. Найпопулярніші — алгоритм, що ґрунтується на обчислювальній складності задачі факторизації великих цілих чисел (RSA) та схеми на основі еліптичних кривих. Останні більш популярні в блокчейнах через відносно невеликі розміри ключів і підписів. Наприклад, у біткойні використовується алгоритм цифрового підпису на базі еліптичної кривої ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm), у якому закритий ключ має довжину 32 байти, відкритий — 33 байти, а підпис — близько 70 байт.

Використання блокчейн-платформи під час розроблення блокчейну суттєво спрощує багато пов'язаних з проектуванням і розробкою завдань, зокрема завдання побудови криптографічного захисту, мережових протоколів, оптимізації продуктивності тощо. Використання блокчейн-платформи дає змогу не розробляти всі ці елементи з нуля, а використовувати готові рішення в рамках платформи. Головною умовою використання блокчейн-платформи для розроблення додатків є відкритий код платформи.

Вище були описані блокчейн-платформи з відкритим кодом Bitcoin (розробник Bitcoin Foundation) та Ethereum (розробник Ethereum Foundation).

Найпоширенішою (приблизно 82 % проектів) є блокчейн-платформа Ethereum. Однією з основних причин такої популярності платформи є широкий функціонал і можливості для розроблення смарт-контрактів.

Bitcoin, хоча й дає можливості програмування псевдорозумних контрактів, однак не є достатньо зручною платформою розроблення додатків, оскільки він був створений передусім для грошових транзакцій.

Розглянемо кілька прикладів інших перспективних блокчейн-платформ.

Hyperledger (від групи компаній під головуванням *Linux Foundation*) — проект блокчейн-системи для міжкорпоративних транзакцій (B2B) і транзакцій між бізнесом і клієнтом (B2C) на основі відкритого коду. Основними цілями проекту є:

- підтримка варіантів застосування в широкому спектрі галузей з різними вимогами;
- відповідність чинним нормативним базам;
- підтримка ідентифікації осіб, а також приватних і конфіденційних операцій;
- підтримка контрольованих і публічних реєстрів;
- підтримка продуктивності, масштабування, можливості перевірки, унікальності, безпеки й конфіденційності;
- зниження обсягу складних обчислень, пов'язаних з доказом роботи PoW.

Для забезпечення функціональних і необхідних можливостей Hyperledger використовує такі рішення:

- смарт-контракти;
- цифрові активи;
- систему зберігання звітних матеріалів;
- децентралізовані мережі, що функціонують на основі консенсусу;
- змінні моделі та алгоритми консенсусу;
- криптографічний захист.

Архітектура Hyperledger підтримує модульність, функціональну сумісність зі стандартом plug-and-play і контейнерну технологію для підтримки смарт-контрактів, написаних на будь-якій поширеній мові.

NEO (компанія OnChain) — китайська блокчейн-платформа з відкритим вихідним кодом. Розробники, які назвали платформу «Smart Economy» («розумна економіка»), головними її компонентами вважають платформу для виконання смарт-контрактів, цифрові активи й цифрову ідентифікацію.

Система надає можливості оцифровки документів на різні типи активів, зокрема нерухомість, і продажу їх за криптовалюту без участі посередників. Це уможливорюють процедури цифрової ідентифікації прав власності й відповідні смарт-контракти (NeoContract).

Виконання смарт-контрактів забезпечує віртуальна машина NeoVM і розширений протокол dBFT, який захищає систему від кібератак і підтримує мови програмування Java, Go, Python та ін.

Водночас, система NEO не забезпечує анонімності і децентралізації реєстру. Технологія OnChain має безпосередній доступ і можливість оприлюднення історії транзакцій. Команда проекту контролює понад 60 % усіх блокчейн-вузлів NEO і планує співпрацювати з урядом та іншими державними установами Китаю.

Chain Core (компанія Chain) — це блокчейн, створений для випуску й передачі фінансових активів керованою інфраструктурою різних блокчейнів. Chain Core працює за протоколом Chain Protocol з відкритим вихідним кодом.

Існують різні редакції продукту: Chain Core Developer Edition є безоплатною редакцією, а Chain Core Enterprise Edition — комерційною.

Створення, контроль і передача активів здійснюються децентралізовано учасниками ланцюжка. Робота мережі регулюється призначеними учасниками. Активи ланцюжка ChainCore включають у себе валюти, цінні папери, деривативи, подарункові карти й бали лояльності.

Ключові функції ChainCore:

- власні цифрові активи — валюти, цінні папери й ін.;
- рольові дозволи для роботи, доступу й участі в мережі;
- підтримка облікових записів з кількома підписами;
- консенсус на базі доказу авторитету;
- підтримка смарт-контрактів;
- конфіденційність транзакцій.

Domus Tower Blockchain (компанія Domus Tower) — рішення, призначене для регульованих середовищ, таких як торгівля цінними паперами, де учасники знають один одного й можуть самостійно вирішувати, кому довіряти.

Відповідно до технічної документації, швидкість проведення транзакцій Domus Tower Blockchain близько 1 мільйона за секунду з потенціалом масштабування понад 10 мільйонів транзакцій за секунду.

Сховище даних міститься в ациклічних графах MerkleDAG з вузлами, названими «блоками». Дані, передані в блокчейні, мають цифровий підпис і перевіряються перед записом у блок.

Основними функціями Domus Tower Blockchain є:

- створення пов'язаних блокчейнів, згідно з якими активи на рахунку в одному блокчейні мають відповідати зобов'язанням на іншому;
- можливість реєстрації високошвидкісних транзакцій;
- облік у вигляді подвійного запису, який відстежує кредит і дебет;
- механізм консенсусу: будь-який агент, який має доступ до блокчейну, має право запису транзакцій у цей ланцюжок.

Тестування блокчейн-додатку подібне до функціонального тестування платіжної системи. Тест-кейси включають перевірки

балансу, полів, статусів транзакцій, можливість повторного зняття одних і тих самих коштів.

Тестові сценарії засновані на заздалегідь визначених вимогах. Крім обліку вимог, тестувальник має логічно оцінити роботу додатка й проявити фантазію, адже, як відомо, користувачі не завжди використовують продукт так, як очікував розробник.

Забезпечити високу якість продуктів, побудованих на технології блокчейну, допоможуть такі види тестування:

- функціональне тестування дасть змогу зрозуміти, чи були реалізовані всі функціональні вимоги;
- тестування навантаження допоможе оцінити пропускну здатність системи, через яку йде взаємодія з блокчейном;
- тестування безпеки. Блокчейни анонімні, тому будь-який власник приватного ключа є повноправним власником коштів і має можливість підписувати транзакції. Система зберігання та шифрування ключів є вразливою і може зазнавати атак. Тестування на проникнення допоможе виявити та усунути «вузькі» місця.

Галузі використання технології блокчейну

Технологія блокчейну знаходить застосування у різноманітних галузях. Головна сфера розвитку блокчейну — фінансова. До неї належать такі напрями: криптовалюти; смарт-контракти з фінансових питань; управління платежами та переказами коштів; аудит і регулювання фінансових операцій; страхування; випуск і торгівля цінними паперами; держреєстри фінансових і майнових активів тощо. Блокчейн здатний значно здешевити та прискорити фінансові й торгові операції. Наприклад, операції продажу нерухомості зазвичай потребують кількох тижнів, а в умовах блокчейну це може зайняти всього 3 хвилини.

Крім фінансової, перспективними галузями використання блокчейну є логістика й пасажироперевезення, мікротранзакції, маркетинг (у частині обліку преміальних балів), цифрові ідентифікаційні дані, інтернет-безпека, Інтернет речей, системи голосування, центри сертифікації, медична галузь тощо.

У **логістиці** блокчейн дає змогу замінити транспортні накладні — паперові документи, які супроводжують товар і заповнюються під час передачі відповідальності від одних учасників процесу до інших. Криптографічні засоби блокчейну здатні підвищити довіру до логістичних транзакцій порівняно з паперовими документами, тому він є кращим інструментом для збереження логістичних даних.

Блокчейн є придатним інструментом для складних **систем мікротранзакцій**. Деякі компанії пропонують клієнтам підписку на послуги, коли клієнти сплачують фіксовану суму за необмежену кількість операцій. Проте з таким підходом пов'язані певні проблеми складності відстеження попиту на окремі пропозиції, надлишкового споживання тощо. Блокчейн надає можливість відстеження операцій, підвищуючи довіру споживачів до постачальника послуг.

Блокчейн може також знайти доречне застосування в маркетингових преміальних програмах. Управління преміальними балами за допомогою блокчейну підвищує інтерес споживачів, які здійснюють публічні транзакції.

У сфері **медицини** на основі блокчейну можуть бути створені інфраструктурні рішення для збереження та синхронізації даних списків пацієнтів сімейних лікарів, медичних карт, рецептів, лікарняних листків тощо. Результатом упровадження блокчейн-технологій буде оперативний облік обороту рецептурних препаратів, виявлення підроблених рецептів, підвищення швидкості оновлення даних та обробки запитів, контроль доступу до даних.

Блокчейн знаходить застосування в галузі **краудфандингу**. Краудфандинг, або громадське фінансування (англ. *Crowdfunding*, *crowd* — «громада», *funding* — «фінансування»), — це спосіб колективного фінансування, заоснований на добровільних внесках, спрямований на підтримку зусиль інших людей або організацій. Громадське фінансування може виконувати різні завдання — допомога постраждалим від стихійних лих, підтримка з боку вболівальників чи фанатів, підтримка політичних кампаній, фінансування стартап-компаній і малого бізнесу тощо.

Сучасна модель краудфандингу означає взаємодію автора-ініціатора, який пропонує ідею або проект для фінансування, краудфандингового майданчика або платформи — спеціалізованого інтернет-сайту для оголошення краудфандингових проектів і збору коштів, а також спонсорів (або донорів), які підтримують проект і отримують матеріальне або нематеріальне заохочення.

Платформи краудфандингу Kickstarter, Indiegogo та інші допомагають стартапам презентувати свою ідею для широкої аудиторії та задавати мету зі збирання коштів. У разі успіху платформи забирають 5 % прибутку й передають решту стартапу. У рамках блокчейну Ethereum стартап також може презентувати ідею й задати мету зі збирання коштів. Однак у цьому разі йому

не потрібно виплачувати жодних комісій: розумний контракт автоматично відправить гроші стартапу за результатами успішної компанії без будь-яких зборів за посередництво.

У [1] наведено перелік **перспективних блокчейн-стартапів**:

- Taqanu Bank (Норвегія) на базі блокчейну надає ідентифікаційні та банківські послуги, зокрема дебетові карти й поточні рахунки для мігрантів, біженців, іноземців і нерезидентних робітників незалежно від статусу резидентства та досяжної документації;

- ProofOfYou (Естонія) — команда адвокатів та експертів з ІТ працює над оцифровуванням повного життєвого циклу контракту, а також над посиленням цифровим підписом, поєднуючи юристів та їхніх клієнтів у всьому світі;

- Paymeabit (Італія) — соціальна мережа і платформа, де контент (коментарі, фотографії, відео або повідомлення в блозі) може заробити деяку кількість «монет» у біткоїнах;

- WONE (Фінляндія) — система для здійснення P2P-платежів у Європі через різні мобільні гаманці. Дає змогу переказувати гроші навіть тим, у кого не встановлений додаток WONE;

- Doqum.io (Швейцарія) — месенджер, який з'єднує підприємства малого і середнього бізнесу з їхніми клієнтами за допомогою системи миттєвого обміну повідомленнями;

- Plex.Ai — заснована Т. Джуді автомобільна платформа телематики, яка використовує Ethereum, автоматизовану діагностику й штучний інтелект, щоб віддалено надавати страховим компаніям у реальному часі діагностичні дані про автомобіль і водія.

Проект **децентралізованого Інтернету речей ADEPT** (Autonomous Decentralized Peer-to-Peer Telemetry — «автономна децентралізована однорангова мережа телеметрії») корпорацій IBM та Samsung включає елементи блокчейн-технології для створення розподіленої мережі пристроїв. Основою системи є:

- алгоритми змішаного консенсусу підтвердження роботи й володіння (PoW / PoS), які використовуються для виконання захищених транзакцій;

- протоколи BitTorrent для загального доступу до файлів;

- смарт-контракти Ethereum;

- протокол TeleHash для пірінгового обміну повідомленнями.

Згідно з документацією проекту, блокчейни використовуватимуться для реєстрації мільярдів пристроїв, які будуть автономно транслювати транзакції в системі з трирівневою архітектурою. Використання блокчейну дасть змогу зробити ADEPT посередником між великою кількістю пристроїв. Відразу після випуску

товару виробник зможе реєструвати його в універсальному блокчейні, зазначивши початок його існування, а під час продажу дилер або сам користувач реєструватиме пристрій у регіональному блокчейні (будинку, спільноти, міста або країни).

Інженери з IBM і Samsung передбачають створення мереж пристроїв, здатних до самообслуговування. Теоретично домашні пристрої зможуть повідомляти про проблеми в роботі й самостійно отримувати оновлення програмного забезпечення. Пристрої також можуть використовувати систему ADEPT для обміну даними з іншими прилеглими пристроями з метою обміну ресурсами та економії енергії.

Наприклад, пральна машина Samsung W9000, налаштована для роботи з системою ADEPT, зможе використовувати смарт-контракти для замовлення та оплати прального порошку в роздрібному магазині. Інформація про операції пральна машина відправлятиме на смартфон власника, який також підключений до домашньої мережі. Проте розробники звертають увагу на необхідність вирішення проблеми масштабності мережі в контексті розподіленого Інтернету речей. Для вирішення проблеми пропонуються такі технології, як сайдчейни, міні-блокчейни й деревовидні ланцюжки. Для обслуговування сотень мільярдів пристроїв необхідно, щоб блокчейн був доволі масштабованим.

Ще одним напрямом використання блокчейну є децентралізовані соціальні мережі DSN (Decentralized Social Networks).

Соціальна мережа Steemit ґрунтується на технології блокчейну й використовує власну криптовалюту Steem для винагороди учасників за наданий контент (статті, фотографії, коментарі тощо). Передбачена також оплата за пошук і голосування за популярний контент. Чим раніше учасник проголосує за публікацію, яка стане популярною, тим більша його винагорода. Частина токенів Steem нові користувачі отримують під час реєстрації. Винагорода користувачам виплачується частково в перехідній валюті «Steem Power» і частково в Steem Dollars, які підлягають обміну на американські долари.

Одна з проблем, пов'язаних з нарахуванням винагороди користувачів, полягає в спробах деяких учасників штучно збільшити свою винагороду, завдяки створенню декількох акаунтів. Ці акаунти можуть використовуватись для дублювання публікацій і голосування, а отже, недостовірного збільшення популярності публікацій. Перешкодити цьому мають додаткові вимоги реєстрації учасників мережі Steemit, наприклад з використанням облікових записів Facebook.

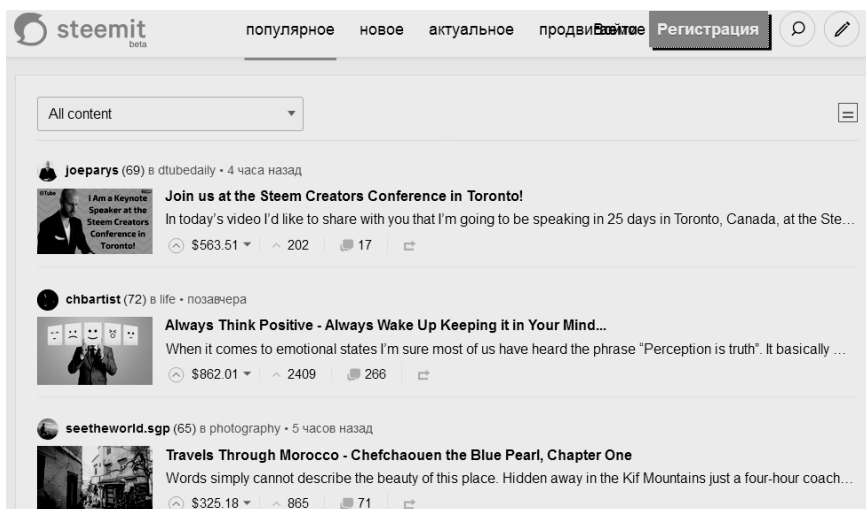


Рис. 6. Інтерфейс соціальної мережі Steemit

Отже, науково обґрунтований підхід до проектування інформаційних систем на базі технології блокчейну здатний забезпечити суттєві переваги практичного використання зазначених систем у бізнесі й для потреб суспільства. Назвемо їх.

1. Прозорість. Випуск програмного забезпечення блокчейну з відкритим вихідним кодом дає змогу користувачам і розробникам пристосовувати його до потреб бізнесу та прискорює впровадження таких систем у різноманітних галузях. Крім того, відкритий код значною мірою перешкоджає прихованим змінам раніше зареєстрованих даних, що робить блокчейн дуже надійною технологією. Приклади блокчейн-платформ з відкритим кодом — Bitcoin (розробник Bitcoin Foundation); Ethereum (розробник Ethereum Foundation); Hyperledger Fabric (проект Hyperledger під головуванням Linux Foundation); Exonum (компанія Bitfury Group); NEO (компанія OnChain); EOS (від команди Block.one) та ін.

2. Зниження транзакційних витрат. Як уже зазначалось, блокчейн уможливорює проведення транзакцій між учасниками мережі (бізнес-структурами) без посередництва фінансових та інших установ, таким чином сприяючи зниженню або навіть уникненню їх витрат, пов'язаних з роботою посередника.

3. Підвищення рентабельності інвестицій. Розподілені ресстри забезпечують швидку окупність інвестицій, даючи змогу формувати більш економічні, ефективні та рентабельні процеси.

4. Прискорення розрахунків за операціями. Проведення транзакції через банк іноді може тривати до кількох днів, що зумовлене протоколами банківського програмного забезпечення, а також режимом роботи банку. Натомість технологія блокчейну працює цілодобово, сім днів на тиждень, що значно пришвидшує виконання транзакцій.

5. Децентралізація. Відсутність центрального вузла мережі блокчейну підвищує стійкість системи до втрати даних через зловмисні дії. Блокчейн передбачає виконання транзакцій, включаючи їх аутентифікацію та авторизацію, через розподілену мережу. Копії реєстру також зберігаються у вузлах децентралізованої мережі. Таким чином, у разі зламу деяких вузлів мережі інші комп'ютери залишаться неушкодженими й база даних буде збережена.

6. Мережі, керовані користувачами. Учасники блокчейн-мереж вважають важливою відсутність централізованого контролю блокчейнів і можливість для користувачів спільно з розробниками керувати мережею й приймати рішення з проблемних питань.

7. Автоматизовані операції. Засоби програмування блокчейну дають змогу автоматично запускати операції та платежі за настання певних умов.

Література

1. Генкин А., Михеев А. Блокчейн. Как это работает и что ждет нас завтра. — М.: Альпина паблишер. — 2018. — 592 с.

2. Блокчейн зсередини: як влаштований біткоїн — [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://konkurent.in.ua/publication/23589/blokchejn-zseredini-yak-vlashtovaniy-bitkoyin/>; <https://vas3k.ru/blog/blockchain/>.

3. Що таке блокчейн технології? — [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://cryptobrain.info/uk/chto-takoe-blokcheyn-tehnologii/>.

4. Blockchain (блокчейн). Технологія, платформа, транзакції — [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <http://comp1.com.ua/blockchain-blokchejn-tehnologiya-platforma-tranzakciyi.html>.

5. Как устроен Ethereum и смарт-контракты — [Электронный ресурс]. — Режим доступа к ресурсу: <https://vas3k.ru/blog/ethereum/>.

6. Алгоритми досягнення консенсусу в блокчейні: Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS), LPoS, DPoS та інші — [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://miz.one/uk/2018/03/22/alhorytmy-dosyahnennya-konsensusu-v-blokcheyni-proof-of-work-pow-proof-of-stake-pos-lpos-dpos-ta-inshi/>.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ БАНКІВСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Банки в сучасній державі виконують низку істотних для економіки функцій. По-перше, вони забезпечують перерозподіл ресурсів від економічних агентів, які володіють ними в надлишку, до тих агентів, які в даний момент з їх потребують. По-друге, банки, надаючи послуги з кредитування, сприяють відбору найбільш якісних інвестиційних проектів, що характеризуються найбільшою прибутковістю за найменших ризиків. По-третє, банки здійснюють постійний моніторинг позичальників, контролюючи ефективність використання ними позикових коштів.

Тим самим банки сприятимуть підвищенню ефективності економіки загалом, фінансуючи найпродуктивніші інвестиції, одночасно зменшуючи ризики виведення капіталу в тінь і за межі держави.

27 червня 2017 року сталась масштабна кібератака на Україну, за масштабністю вона посідає одне з перших місць у світі. Найбільше від цієї кібератаки постраждали фінансові установи, банки, а також інші державні установи, аеропорти, транспортні та логістичні компанії. Навіть після контрзаходів, коли трапилася ця атака, загроза постійно зростає й не тільки тому що кількість атак на інформаційну інфраструктуру збільшилась в рази, а й тому, що вони ускладнилися. Зловмисники використовують різні види атак: фізичні, DDoS-атаки, зломи інформаційних ресурсів, атаки на мобільні мережі тощо [8, 9].

Назвемо основні проблеми, які є сьогодні в сфері інформаційної безпеки.

1. Відсутність єдиної державної стратегії розвитку в сфері інформаційної безпеки та єдиного державного органу, який би в масштабах країни координував пов'язані з інформаційною безпекою та ІТ питання загалом, що не дає змогу створити ефективну систему захисту інформації та стримує розвиток системи управління ІТ та електронного уряду [8, 9].

2. Застаріла система національних стандартів захисту інформації. Так, для технічного захисту інформації застосовується так звана «Комплексна система захисту інформації», згідно з

якою систему потрібно один раз побудувати, потім спеціальні організації перевіряють її й видають сертифікат про безпеку. Тобто з плином часу система залишається незмінною, що не гарантує фінансово обґрунтованих і надійних заходів захисту. Водночас в інших країнах є спеціальні галузеві стандарти щодо захисту бізнесу в царині інформаційної безпеки, зокрема для банків, державних підприємств, засобів масової інформації тощо [8, 9].

3. Відсутність обміну інформацією про кібератаки на державні організації, приватні підприємства тощо, що унеможливорює їх ретельне дослідження та розроблення відповідних заходів протидії кібератакам. Дещо краща ситуація спостерігається в банківській сфері — банки намагаються обмінюватися такою інформацією, зокрема поширювати відомості про те, з якого сервера здійснювалася атака на Інтернет-банкінг, звідки виробляються DDoS-атаки тощо [8, 9].

4. Використання неліцензійного програмного забезпечення, що дає змогу здійснювати DDoS-атаки за рахунок заражених вірусами і неправильно сконфігурованих систем. За оцінками експертів, в Україні є тисячі заражених і неправильно сконфігурованих систем, які використовуються при атаках на інші компанії [8, 9].

Система інформаційної безпеки має забезпечити безпечність та надійність банківської діяльності та окремих її елементів. Тому впровадження та функціонування системи інформаційної безпеки є комплексним завданням, спрямованим на забезпечення безпеки інформаційних ресурсів, і стосується всіх банків, їх підрозділів і власників бізнес-процесів у банківській системі [8, 9].

Виокремлено такі базові принципи, на які має спиратись система інформаційної безпеки:

- конфіденційність (*confidentiality*) — властивість інформації, яка полягає в тому, що інформація не може бути отримана неавторизованим користувачем і/або процесом;

- цілісність (*integrity*) — властивість інформації, яка полягає в тому, що інформація не може бути модифікована неавторизованим користувачем і/або процесом. Цілісність системи (*system integrity*) — властивість системи, яка полягає в тому, що жоден її компонент не може бути усунений, модифікований або доданий з порушенням політики безпеки;

- доступність (*availability*) — властивість ресурсу системи, яка полягає в тому, що користувач і/або процес, який володіє

відповідними повноваженнями, може використовувати ресурс відповідно до правил, установлених політикою безпеки, не очікуючи довше заданого (малого) проміжку часу, тобто, коли він знаходиться у вигляді, необхідному користувачеві, у місці, необхідному користувачеві, і в той час, коли він йому потрібний;

– спостережність (*accountability*) — властивість системи, що дає змогу фіксувати діяльність користувачів і процесів, використання пасивних об'єктів, а також однозначно установлювати ідентифікатори причетних до певних подій користувачів і процесів з метою запобігання порушення політики безпеки і/або забезпечення відповідальності за певні дії [10, 11, 15].

Незважаючи на бурхливий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, дієве вирішення питань інформаційної безпеки для кожної організації індивідуальне й залишається творчим процесом.

Зазначимо, що для банків процеси забезпечення інформаційної безпеки регламентовані краще, ніж для багатьох інших галузей. Існують закони й стандарти забезпечення необхідного рівня інформаційної безпеки, яких банки повинні дотримуватись у своїй діяльності, зокрема Закони України Про інформацію, Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах, стандарти Національного банку України СОУ Н НБУ 65.1 СУІБ 1.0:2010 та СОУ Н НБУ 65.1 СУІБ 2.0:2010, засновані на міжнародних стандартах ISO/IEC 27001 та ISO/IEC 27002, які забезпечують відповідність вимогам Базельського комітету (Basel II, Basel III, Basel IV) з управління та зменшення операційних ризиків банків та ін. [10, 11, 15, 16].

Використання стандартів з управління інформаційною безпекою у практиці банківської діяльності дає змогу оптимізувати вартість побудови та підтримання системи інформаційної безпеки; постійно відслідковувати та оцінювати ризики з урахуванням цілей діяльності банків; ефективно виявляти найбільш критичні ризики та знижувати ймовірність їх реалізації; створювати ефективні стратегії інформаційної безпеки та дотримуватись їх виконання; ефективно розробляти, упроваджувати та тестувати банківські інформаційні системи та сучасні інформаційно-комунікаційні технології підтримки банківської діяльності [10, 11, 15].

Концептуальну схему системи інформаційної безпеки відповідно до стандарту ISO/IEC 27001 можна представити у вигляді схеми (рис. 1).

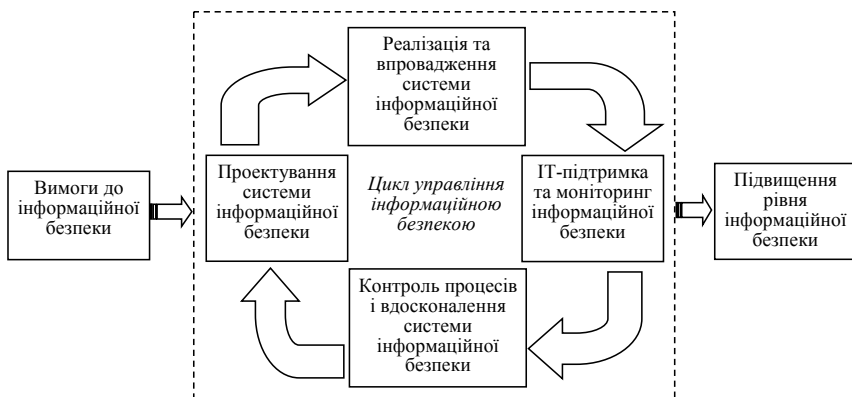


Рис. 1. Концептуальна схема системи інформаційної безпеки відповідно до стандарту ISO/IEC 27001

У роботі [11] забезпечення інформаційної безпеки банку визначається стан стійкої життєдіяльності, за якого забезпечуються реалізація основних інтересів і пріоритетних цілей банку, захист від зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів незалежно від умов функціонування.

Тому при розробленні концепції управління банківською діяльністю необхідно виокремити основні процеси функціонування банківської системи й виключити можливість витоку інформації, її несанкціонованого використання, нанесення збитків, упущення вигоди з боку всіх зацікавлених сторін і в напрямі досягнення основних цілей банківської діяльності. Реалізація цих положень гармонійно вписується в концепцію управління банківською діяльністю, до якої сьогодні вдається усе більше банків (рис. 2).

Головним критерієм ефективності та якості інформаційної безпеки банку є стійкість його фінансового та економічного розвитку відповідно до планів і завдань незалежно від зміни ситуації [10, 11, 15].

Згідно зі стандарту ISO/IEC 27001 практична реалізація заходів інформаційної безпеки має здійснюватись шляхом: установлення політики системи управління інформаційною безпекою; забезпечення відповідності цілей системи управління заходам інформаційної безпеки; установлення ролей та обов'язків, пов'язаних з інформаційною безпекою; доведення до персоналу організації важливості забезпечення та дотримання політики інформаційної безпеки; надання достатніх ресурсів для забезпечення підтримки

інформаційної безпеки; побудова системи управління ризиками для забезпечення належного рівня інформаційної безпеки; забезпечення проведення внутрішнього аудиту системи управління інформаційною безпекою; здійснення перевірок управлінських рішень, що запроваджуються керівництвом, щодо забезпечення належного рівня інформаційної безпеки.



Рис. 2. Концептуальна схема взаємозв'язку системи інформаційної безпеки із загальною системою управління банком

Реалізація та підтримка заходів інформаційної безпеки забезпечується силами підрозділів безпеки банків і фірм котрі спеціалізуються на забезпеченні інформаційної безпеки банку, а також спеціалізованих інформаційно-комунікаційних технологій і технічних засобів захисту інформації [10, 11, 15, 16].

Через розмаїття та складність виконуваних сучасними банками функцій неминуче постає питання про те, як оцінити ефективність їх функціонування та забезпечити їх стійкий розвиток. Найбільш утилітарним підходом може бути традиційний для фінансового сектора підхід, що передбачає всебічний аналіз характеристик доходів і витрат окремих банків або зведених показників по банківській системі загалом. Водночас практика показує, що рівень прибутковості банківського бізнесу швидко

змінюється в часі [14]. Більш того, значна частина коливань найчастіше спричиняється разовими угодами, успішність яких визначається професіоналізмом менеджменту банку або сприятливими зовнішніми умовами. Загалом, окремий розгляд показників прибутковості або грошового потоку банківської системи не дає уявлення про ступінь ризиків, які несуть банки. Крім прибутковості, можуть розглядатися такі об'ємні характеристики банківського бізнесу, як величина кредитного портфеля, сума залучених депозитів тощо. Але при аналізі цих показників необхідно враховувати як ризикованість ведення окремих видів операцій, так і величину ресурсів, необхідну для проведення трансакцій і здійснення посередницької діяльності [10, 11, 15]. Тому видається доцільним проаналізувати підходи до оцінювання ефективності діяльності банків та їх стійкого розвитку й на їх основі надати рекомендації, які б найкращим чином задовольняли потреби вітчизняних банків, банківської системи України та економіки країни загалом.

Реалізація стратегії розвитку банків держави в сфері макроекономічного регулювання ґрунтується на двох основних чинниках: по-перше, визначення завдань і напрямів, сутності й характеру самої стратегії розвитку — в основу визначення змісту стратегії розвитку банківської системи покладено дослідження економічних, соціальних, політичних та інших проблем, що є актуальними для суспільства на певний момент; по-друге, стратегія розвитку банків ґрунтується на застосуванні певних методів, інструментів і важелів впливу на різні сторони діяльності суспільства [10, 11, 15].

Зазначимо, що модель стратегії банківського розвитку розробляється на основі наявної статистичної інформації. Після отримання результатних даних щодо вибору стратегії розвитку банків можна оцінити релевантність та адекватність побудованої моделі. Різниця між реальними значеннями показників та їх прогнозними значеннями, визначеними на моделі, дасть змогу уточнити модель, а за необхідності змінити перелік вхідних показників [12].

Отже, статистика, що постійно збагачується, дає можливість безперервно відстежувати параметри й структуру моделі. У результаті отримуємо постійно діючий механізм моделювання, який дає змогу прогнозувати стан банків, визначати тенденції їх розвитку, необхідний для вирішення завдань управління обсяг статистичної інформації, ті важелі, які дадуть можливість змінювати стан банків у потрібному напрямі, оцінювати ймовірні наслідки прийнятих у системі рішень тощо.

Забезпечення стійкості функціонування й ефективності розвитку банків набувають особливої актуальності в сучасних економічних умовах. Тим більше актуальними видаються проблеми розроблення ефективних моделей вибору стратегії банківського розвитку [13, 14].

Необхідність врахування комплексу показників, що визначають успішність окремого банку або банківської системи загалом, породила значну кількість досліджень щодо оцінювання ефективності, або потенціалу, кредитних організацій як в Україні, так і за кордоном. Високий попит на подібні дослідження спостерігається як з боку держави, так і з боку приватного сектора. Так, центральні банки та уряди більшості країн світу прагнуть оптимізувати законодавчу базу, що регламентує діяльність банківського сектора, і потребують інструментарій, за допомогою якого можна було б оцінити успішність реалізованої політики та реформ, що проводяться. Регулятори здійснюють ретельний моніторинг надійності банків і також потребують інструментарій, що дає комплексну характеристику загального стану банків з погляду ризику дефолту. Антимонопольні органи відчують потребу в розширенні методів оцінювання наслідків злиття й поглинань на ринку. Водночас, менеджмент банків також зацікавлений у проведенні порівняльного аналізу ефективності між конкуруючими кредитними організаціями, що дасть змогу виявити сильні й слабкі сторони в організації банківської діяльності.

На сьогодні існують окремі розробки щодо аналізу продуктивності, або ефективності, кредитних організацій. Однак багато питань залишаються ще не вирішеними. Підходи до аналізу змін показників ефективності, або потенціалу, банків у часі потребують нині додаткової систематизації. Зрештою, потрібно спрямувати зусилля на часткове узагальнення методик проведення аналізу потенціалу банків, що дасть можливість застосовувати розроблений економіко-математичний інструментарій при роботі з даними різних банків.

За основу для аналізу банківського потенціалу, найчастіше беруться характеристики діяльності її складових, таких як інформаційні, фінансові, економічні, інтелектуальні тощо. При розгляді складових під показником ефективності потенціалу розуміють сукупність різних видів ресурсів, зокрема матеріальних, фінансових, інтелектуальних, інформаційних та інших, необхідних для здійснення банківської діяльності. Досліджується можливість отримання максимально допустимого скорочення витрат при збереженні результативності банківської діяльності. При цьому

для банку результативність його діяльності та витрати описуються багатовимірними векторами, елементи яких визначаються експертами під час специфікації завдання оцінки потенціалу. Наприклад, як характеристики результативності банківської діяльності розглядаються обсяги кредитування підприємств, населення, державних органів, кількість здійснених трансакцій, величину отриманого доходу тощо. Як характеристики витрат розглядаються обсяги використаної праці, фінансового капіталу та ін. [3].

Оскільки на практиці показники результативності банків не завжди досягають своєї максимально можливої при заданих витратах величини, потенціал реалізується не повністю. Причинами цього можуть бути неоптимальна організація процесів з проведення операцій і обслуговування клієнтів, недостатня конкуренція в галузі, інші зовнішні чинники. Тим самим розуміння того, як наблизити фактичну величину результативності банківської діяльності до потенційно можливої, є одним з найважливіших завдань, що стоять перед банківською системою та окремими банками, які прагнуть підвищити продуктивність своєї діяльності.

На сьогодні існують окремі розробки щодо аналізу ефективності діяльності банків. Над проблемами оцінювання ефективності функціонування та розвитку банків працювали такі науковці, як А. Бергер, В. Білоусова, К. Нікішин, А. Пересецький, Д. Хампфрі. Можна виокремити прикладні дослідження вітчизняних авторів С. В. Устенка, Г. Т. Карчевої, В. В. Коваленка, А. І. Пілявського, С. О. Хайлук, Д. В. Шараєвського. Проте багато питань залишаються ще не вирішеними. По-перше, переважна більшість існуючих методів орієнтована на аналіз окремих видів діяльності банків, і їх застосування не дає змоги оцінити ефективність функціонування банку загалом. Водночас можливість отримання інтегральної оцінки рівня ефективності банківської діяльності істотна як для державних органів, так і для приватного сектора. По-друге, лише останніми роками дослідникам стали доступні тривалі часові ряди, на підставі яких можна здійснювати аналіз динаміки ефективності функціонування та розвитку банків у часі. Тому проблема адекватності оцінювання ефективності банківської діяльності є актуальною і потребує на своє дослідження.

За основну розробку пропонуємо взяти роботу Д. В. Шараєвського «Моделі та методи оцінювання ефективності діяльності комерційних банків». По-перше, у ній дуже докладно розглянуті процеси оцінювання ефективності діяльності банків, побудоване якісне методичне забезпечення процесу оцінювання ефективності діяльності банків [2, 3].

Д. В. Шараєвський розглядає модель оцінювання ефективності діяльності банків як п'ять етапів процесу, які повинні відбуватися, а саме [2]:

- ідентифікація цілей дослідження та чітке визначення категорії «ефективність»;
- вибір оптимального методу оцінювання;
- ідентифікація вхідних і вихідних значень діяльності банку для проведення оцінювання;
- специфікація функціональної форми функції витрат, прибутку або випуску продукції банку;
- безпосередньо моделювання процесу оцінювання [2].

Тоді на основі аналізу даної роботи можна прогнозування динаміки показників ефективності за витратами та ефективністю за прибутком банків, простежувати вплив внутрішніх і зовнішніх інвестицій на діяльність комерційних банків і, зрештою, дати рекомендації з підвищення зазначених ефективностей у будь-який момент часу.

Етап 1. Ідентифікація цілей дослідження та чітке визначення категорії ефективність. Цей елемент концептуальної схеми передбачає передусім чітке визначення цілей і завдань проведення оцінювання ефективності, адже саме цілі та завдання справляють неабиякий вплив на всі інші елементи схеми [2].

Етап 2. Вибір оптимального методу оцінювання.

Автор, проаналізувавши переваги та недоліки методів цих двох груп ґрунтується на тому, що ідеального методу оцінювання ефективності діяльності банку не існує. Обираючи метод, що належать до тієї чи іншої групи, обов'язково потрібно враховувати низку його недоліків. Тому при виборі методу оцінювання ефективності слід орієнтуватися на деякі критерії. Назвемо їх.

1. Наявна інформація. Так, параметричні методи мають менш жорсткі вимоги до точності інформації, що використовується а це є доволі важливою характеристикою в українських реаліях.

2. Наявні часові ресурси. Так, параметричні методи вимагають специфікації функціональної форми виробничої функції банку, що потребує додаткових часових ресурсів.

3. Бюджет дослідження. Так, відоме автору програмне забезпечення для застосування параметричних методів є суттєво дорожчим за програмне забезпечення, у якому реалізована можливість застосування непараметричних методів [2].

Етап 3. Ідентифікацію вхідних і вихідних значень діяльності банку для проведення оцінювання.

На цьому етапі автор розглядає чотири підходи.

Виробничий. Під час виробничого підходу банки розглядаються як виробники банківських продуктів для своїх клієнтів: позичальників і вкладників [2].

Посередницький. Банки розглядаються як посередники на фінансовому ринку між тими, хто має гроші (вкладниками) та тими, хто їх потребує (позичальниками).

Операційний. Під час операційного підходу кінцевою метою діяльності банку вважається дохід, а за рахунок яких ресурсів і продуктів він був отриманий, не має істотного значення. Щоб отримати дохід, банк, з іншого боку, несе витрати. Вхідними змінними визнані витрати процентного й непроцентного характеру. Вихідними змінними вважаються сукупні доходи — відповідно, процентні доходи й непроцентні доходи.

Сучасний. Сучасний підхід полягає в тому, що він не залишає поза увагою такі параметри діяльності банку, як якість банківських активів і ймовірність банкрутства. Для цього в якості змінних для аналізу банківської діяльності були використані окремі компоненти американської моделі CAMEL (Capital adequacy, Asset quality, Management, Earnings and Liquidity) [2].

Етап 4. Вибір форми функції витрат, прибутку та/або випуску банку.

Найпоширенішими формами функцій витрат, прибутку або випуску банку, що використовуються в стохастичному фронтірно-аналізі для опису діяльності банку, є такі:

- 1) функція Коба-Дугласа;
- 2) CES-функція (функція постійної еластичності заміщення);
- 3) узагальнена функція Леонт'єва (Diewert-функція);
- 4) транслогарифмічна функція;
- 5) транслогарифмічна функція з включенням тригонометричних членів ряду Фур'є (Fourier-Flexible функція) [2].

Етап 5. Моделювання процесу оцінювання ефективності. Цей елемент концептуальної моделі процесу оцінювання ефективності передбачає деталізацію інформації та її потенційних джерел, яка буде потрібна для проведення оцінювання ефективності діяльності комерційних банків і безпосередньо проведення оцінювання з використанням обраного методу [2].

На основі вивчених підходів, етапів і розробок авторів вважаю за потрібне розглядати економічну ефективність процесів банківської діяльності в узагальненому вигляді як відношення фінансових потоків, до всіх використовуваних ресурсів.

Нині пропонуються різні підходи та методики оцінювання ефективності використання ресурсів банківської системи, причо-

му ці методики застосовуються для оцінювання окремих аспектів ефективності використання конкретного ресурсу. Тоді як у межах системного підходу виникає необхідність у комплексній оцінці ефективності банківської діяльності, яка є результатом використання потенціалу банківської системи.

В економічній літературі є низка робіт, у яких автори досліджують питання комплексної оцінки ефективності й пропонують використовувати методи ранжування, згортки даних, індексний метод та ін. Але при застосуванні таких методів часто відбувається механічне поєднання даних, ототожнення різних за своїм економічним змістом показників і коефіцієнтів.

Отже, динаміка змін показників і коефіцієнтів репрезентує різні траєкторії розвитку за напрямками банківської діяльності, жодна з яких не дає змоги комплексно оцінити ефективність функціонування та розвитку банку загалом.

Одним з можливих способів вирішення завдання оцінювання потенціалу банківської діяльності є побудова виробничої функції, що описує діяльність секторів банків, яка ставила б у відповідність кожному обсягу витрат максимально можливі величини результатів банківської діяльності. Вона описує процес діяльності банківського сектора, результатом якого є видача продукту банківського сектора. Однак опис такої функції та оцінка її параметрів ускладнюються певними особливостями, притаманними банківській діяльності [2].

Зазначимо, що банківський потенціал — це не просто показник, який характеризує її стан, а категорія, яка одночасно відображає сутність методологічних основ безлічі реальних процесів і явищ, що відбуваються в банку. Такий підхід дає можливість адекватно відобразити не лише ту чи іншу ситуацію, ті чи інші відносини, а й процеси, тенденції їх розвитку і, таким чином, ефективність функціонування банків загалом.

Беручи до уваги вищевикладене, категорію «банківський потенціал» можна трактувати як здатність системи до трансформації фактичної організації процесів банківської діяльності в новий стан з метою підтримки процесів банківської діяльності, задоволення існуючих або знову циклічно виникаючих потреб у банківських продуктах і послугах з боку фізичних осіб, юридичних осіб, держави тощо. При цьому ефективне використання потенціалу уможливорює перехід від прихованої можливості до явної реальності, тобто з одного стану до іншого.

Отже, потенціал банківської діяльності — це своєрідна характеристика здатності системи до позитивних змін, прогресу.

Розглянемо докладніше питання визначення структури банківського потенціалу. Сутність будь-якого об'єкта доволі повно розкривається за допомогою виявлення його структури. У цьому зв'язку окремо слід зупинитися на основних компонентах досліджуваної категорії. Структура банківського потенціалу може бути представлена єдністю трьох його складових (ресурсної, внутрішньої і результативної), які співіснують взаємно, допускають і зумовлюють одна одну (рис. 3).



Рис. 3. Структура банківського потенціалу

Ресурсна складова банківського потенціалу є основою формування останньої. Вона включає в себе такі основні компоненти, що мають різне функціональне призначення: фінансові, маркетингові, інфраструктурні, інтелектуальні, інноваційні, інвестиційні, інформаційні, кадрові, матеріально-технічні та інші види ресурсів.

У науковій роботі професора С. В. Устенка [1] ретельно описано призначення ресурсних складових з погляду функціонування та розвитку наукомістних систем, зокрема й банків [1].

До складу ресурсних складових банківського потенціалу можна визначити:

1) матеріально-технічні — активна частина основних засобів (комп'ютери, відеокамери, комплектуючі вироби, рахункові машини, автомобілі, обладнання, інструменти, енергетично-силові установки для резервних станцій) [1, 7];

2) кадрові (чисельність працівників, статеві-віковий склад, середній вік працівників, стаж роботи, рівень ротації кадрів, індивідуальні професійні характеристики, соціально-психологічні параметри) [7, 1];

3) фінансові (стан капіталу, активів, ліквідність, дебіторська та кредиторська заборгованість, наявність довгострокових кредитних угод, характеристики фінансового стану підприємства, випуск нових акцій, фінансування НДДКР, експортне кредитування (підтримка експорту), субсидювання кредитів і лізингових платежів) [1];

4) інформаційні (інформаційні системи, зокрема електронно-обчислювальні машини й комплекси; електронні прилади; засоби управління; засоби збереження інформації; програмне, системне, прикладне й сервісне забезпечення);

5) інвестиційні (фінансування компаній, інвестиції від великих корпорацій);

6) інноваційні (інноваційні проекти вдосконалення технології, венчурне інвестування наукових досліджень та ін.) [1, 5, 6, 7];

7) інтелектуальні (кваліфіковані, досвідчені фахівці, об'єкти інтелектуальної власності (інтелектуальна власність у вигляді бізнес-ідей, промислові зразки, корисні моделі, заходи індивідуалізації (фірмові найменування, товарні знаки, знаки обслуговування), об'єкти авторського права (програмні продукти, бази даних), об'єкти прав (ноу-хау, контракти, НДДКР), об'єкти сертифікації, гудвіл, корпоративна практика й процедури, інтеграційні процеси);

8) інфраструктурні (склад і розташування приміщень, об'єктів нерухомості, випробувальних систем, комунікацій, розподіл ринку збуту й транспортних засобів та інших факторів) [1, 7];

9) маркетингові (виконання маркетингових функцій, планування, просування та збут продуктів) [1, 7].

Другою складовою банківського потенціалу є внутрішня складова, яка забезпечує дієздатність та ефективність функціонування всіх елементів ресурсної складової. Загалом зазначена складова характеризує можливість цілеспрямованого здійснення банківської діяльності, тобто визначає здатність банку на принципах комерційної результативності, а також інформаційної ефективності

залучати ресурси для підтримки процесів свого функціонування, обслуговування клієнтів, надання банківських послуг, упровадження банківських продуктів тощо.

Третьою складовою банківського потенціалу є результативна складова, яка відображає кінцевий результат реалізації наявних можливостей ефективного функціонування банків і забезпечення їх стійкого зростання. Отже, результативна складова є цільовою характеристикою банківського потенціалу. Її важливість і доцільність виокремлення підтверджується тим, що її збільшення, своєю чергою, сприяє розвитку решти складових (наприклад, ресурсної). Іншими словами, результативна складова, сама будучи результатом кількісних та якісних змін, несе в собі потенційні можливості виведення на новий рівень банківської діяльності загалом.

Важливу роль у визначенні банківського потенціалу виконують також зовнішні складові. Законодавча база, зовнішні політичні ризики, економічна стабільність країни — усі ці чинники можуть як підштовхнути потенціалу до швидшого розвитку та ефективності, так і знизити можливості потенціалу загалом.

Тісний взаємозв'язок ресурсної, зовнішньої, внутрішньої та результативної складових банківського потенціалу визначають необхідність виявлення на практиці їх оптимального співвідношення (виходячи з ролі та значущості, яку вони відіграють у формуванні та розвитку банківського потенціалу) систем [1]. Так, незначна питома вага ресурсної складової зазвичай зумовлена превалюванням якісних змін над кількісними. При цьому обмеженість необхідних ресурсів у часі та просторі може бути повністю або частково подолана інтенсифікацією їх використання, застосуванням нових методів організації (додати процеси банківської діяльності) процесів банківської діяльності, пошуком нових джерел їх залучення [1]. При цьому, вочевидь, існує певна межа відхилення величини складових потенціалу банківської системи від оптимального рівня. Тобто подальша зміна якогось елемента спричиняє або зниження віддачі від нього самого, або зменшення ефективності функціонування інших елементів, оскільки всі вони існують у системній єдності [1]. Наприклад, якщо зовнішні складові створюватимуть погані фінансові умови для реалізації нових продуктів або послуг, то й результативна складова з ресурсною будуть відхилятися від оптимального рівня, позаяк зовнішня складова гальмуватиме можливості інших складових.

Отже, проблема оптимізації структури потенціалу банку є важливою, проте, зважаючи на свою складність, вимагає окремого, ретельнішого вивчення.

Література

1. Устенко С. В. Моделирование процессов функционирования та розвитку наукоємистих виробничих систем: дис. докт. ек. наук: 08.00.11 / Устенко Станіслав Веніамінович. — К., 2008. — 434 с.
2. Шараєвський Д. В. Моделі та методи оцінювання ефективності діяльності комерційних банків: дис. канд. ек. наук: 08.00.11 / Шараєвський Дмитро Володимирович. — К., 2011. — 140 с.
3. Аналіз передумов та теорія формування консолідованого інформаційного ресурсу — [Електронний ресурс] // Вінницький національний технічний університет. — 2017. — Режим доступу до ресурсу: <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/602E1CAC-EC00-4074-AB05-696CB7F706F7.pdf>.
4. Степаненко О. П. Моделі, методи та інформаційні технології підтримки процесів діяльності банківської системи: Монографія — [Електронний ресурс] / Ольга Петрівна Степаненко // КНЕУ. — 2013. — Режим доступу до ресурсу: <https://core.ac.uk/download/pdf/78514527.pdf>.
5. Standard & Poor's Ratings Services. Methodology: Management And Governance Credit Factors For Corporate Entities And Insurers — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.standardandpoors.com/aboutsp/main/en/us>
6. The materials of website Bank for International Settlements: Basel Committee on Banking Supervision — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.bis.org/list/bispapers/index.html>
7. Оцінка інноваційного потенціалу Харківського електромеханічного заводу — [Електронний ресурс]. — 2012. — Режим доступу до ресурсу: https://knowledge.allbest.ru/management/2c0a65625a2bd78b5d53a89521216d37_0.html.
8. Янковский А. 5 ключевых проблем в сфере информационной безопасности — [Електронний ресурс] / А. Янковский. — Режим доступу: <http://cripo.com.ua/processes/?p=185145/>
9. Степаненко О. П. Формування системи інформаційної безпеки в банківському секторі України — [Електронний ресурс] / Ольга Петрівна Степаненко. — 2015. — Режим доступу до ресурсу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Mise_2015_91_4.pdf.
10. Щодо впровадження системи управління інформаційною безпекою та методики оцінки ризиків відповідно до стандартів Національного банку України — [Електронний ресурс] // НБУ. — 2011. — Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0365500-11>.

11. Опис принципів забезпечення безперервності роботи — [Електронний ресурс] // Студопедія. — 2012. — Режим доступу до ресурсу: https://studopedia.ru/20_8890_opis-printsipiv-zabezpechennya-bezperernosti-roboti.html.

12. Системи технічного захисту інформації — [Електронний ресурс] // Держспецзв'язок. — 1999. — Режим доступу до ресурсу: http://www.dsszzi.gov.ua/dsszzi/control/uk/publish/article?showHidden=1&art_id=102106&cat_id=46556&ctime=1344502446343.

13. Цілісність — [Електронний ресурс] // Wikipedia. — 2014. — Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D1%96%D0%BB%D1%96%D1%81%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C>.

14. Інформаційна безпека банку — [Електронний ресурс] // Studwood — Режим доступу до ресурсу: https://studwood.ru/643817/bankovskoe_delo/informatsiyna_bezpeka_banku.

15. Методи захисту системи управління інформаційною безпекою — [Електронний ресурс] // ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ. — 2014. — Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=68935.

16. Національна безпека України. Методи забезпечення інформаційної безпеки — [Електронний ресурс] // Навчальні матеріали он-лайн. — 2010. — Режим доступу до ресурсу: https://pidruchniki.com/15950210/politologiya/metodi_zabezpechennya_informatsiynoyi_bezpeki.

Наукове видання

ІНФОРМАЦІЙНІ УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

Монографія

Редактор *Н. Підлужна*
Художник обкладинки *Т. Зябліцева*
Коректор *І. Савлук*
Верстка *О. Руденко*

Підп. до друку 00.00.19. Формат 60×84/16. Папір офсет. № 1.
Гарнітура Тип Таймс. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 24,64.
Обл.-вид. арк. 28,04. Наклад 300 пр. Зам. 19-5539.

Державний вищий навчальний заклад
«Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»
03680, м. Київ, проспект Перемоги, 54/1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи (серія ДК, № 235 від 07.11.2000)

Тел./факс (044) 537-61-41; тел. (044) 537-61-44
E-mail: publish@kneu.kiev.ua

Для нотаток

Для нотаток

Для нотаток

Для нотаток