

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

# **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ** **В ЕКОНОМІЦІ**

№ 2 (15), квітень-червень 2019 р.

**Міжнародний науковий журнал**

Заснований у липні 2014 р.  
Виходить 4 рази на рік

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

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

Свідоцтво про реєстрацію журналу КВ № 20259-10659 Р від 14.07.2014

**КИЇВ 2019**

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

*Головний редактор* – **С.О. Довгий**, д-р фіз.-мат. наук, акад. НАНУ

*Заступник головного редактора* – **О.М. Трофимчук**, д-р техн. наук, чл.-кор. НАНУ

*Виконавчий редактор* – **О.О. Кряжич**, канд. техн. наук

*Відповідальний секретар* – **Д.В. Стефанишин**, д-р техн. наук

### Члени редколегії:

**К.А. Андрющенко**, д-р екон. наук

**В.М. Гесць**, д-р екон. наук, акад. НАНУ

**В.М. Горбачук**, д-р техн. наук

**Л.Ф. Гуляницький**, д-р техн. наук

**Ю.І. Калюх**, д-р техн. наук

**С.І. Левицький**, д-р екон. наук

**О.О. Любіч**, д-р екон. наук

**В.Б. Мокін**, д-р техн. наук

**О.В. Мороз**, д-р екон. наук,

**В.О. Романов**, д-р техн. наук

**В.А. Пепеляєв**, д-р фіз.-мат. наук

**В.О. Петрухін**, д-р техн. наук

**С.К. Полумієнко**, д-р фіз.-мат. наук

**О.Г. Рогожин**, д-р екон. наук

**І.В. Сергієнко**, д-р фіз.-мат. наук,

акад. НАНУ

**М.І. Скрипниченко**, д-р екон. наук,

чл.-кор. НАНУ

**П.І. Стецюк**, д-р фіз.-мат. наук

**В.О. Устименко**, д-р фіз.-мат. наук

## МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

**О.М. Ведута**, д-р екон. наук, проф., РФ

**М. Вохозка**, проф., Чеська Республіка

**Р. Еспехо**, проф., Великобританія

**А. Крайка**, проф., Польща

**А. Леонард**, проф., Канада

**П. Миколайчак**, проф., Польща

**Є.О. Нурмінський**, д-р фіз.-мат. наук,

проф., РФ

**В.М. Полтерович**, д-р екон. наук, проф., акад. РАН, РФ

**П. Ткаліч**, старш. дослідник, Сінгапур

**Ю.С. Харін**, д-р фіз.-мат. наук, проф.,

чл.-кор. НАНБ, Білорусь

**Г. Ширз**, проф., Великобританія

**М. Ячимович**, проф., акад. ЧАНМ,

Чорногорія

---

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (протокол № 7 від 19.06.2019 р.)

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

## ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЖУРНАЛУ

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

## ЗМІСТ

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

**Горбулін В.П., Полумієнко С.К., Трофимчук О.М.**

Методи оцінки та формування стратегії розвитку національних наукових досліджень і розробок. .... 5

**Голубєв С.О., Лебідь О.Г., Черній Д.І.**

Засоби комп'ютерного моделювання в галузі обчислювальної гідродинаміки..... 21

**Коваленко О.Є.**

Композиційна конвергенція інформаційних технологій у системах ситуаційного управління на основі моделі знань предметної області..... 39

### МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

**Мокін В.Б., Овчаренко І.І., Лучко А.М., Давидюк О.М.**

Побудова масштабованої інформаційно-пошукової системи для управління річковим басейном на основі реєстрів та онтологічних моделей..... 45

**Нестеренко О.В.**

Онтолого-керовані інформаційні системи в адміністративному управлінні ..... 57

### АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

**Стефанишин Д.В.**

Логіко-імовірнісне моделювання і прогнозування аварій на напірних гідропорадах Дністровського гідровузла (Частина 1. Методологія, гіпотези та припущення)..... 69

**Дробязко А.О., Любич О.О.**

Експрес-метод оцінювання фінансової стійкості банку ..... 86

**Макаренко І.П., Рогожин О.Г.**

Система інноваційних індикаторів ЄС як інструмент євроінтеграційних процесів ..... 101

**РЕФЕРАТИ**..... 115

**ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ**..... 120

## CONTENTS

### INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

**Horbulin V.P., Polumiienko S.K., Trofymchuk O.M.**

Methods of estimation and formation of the strategy of development of national scientific researches and developments..... 5

**Golubev S.O., Lebid O.G., Cherniy D.I.**

Computer simulation tools in the field of computational hydrodynamics..... 21

**Kovalenko O.E.**

Compositional convergence of information technologies in systems of situational management based on the knowledge domain model..... 39

### MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

**Mokin V.B., Ovcharenko I.I., Luchko A.M., Davidyuk O.M.**

Construction of a scalable information retrieval system for river basin management based on the registries and ontological models..... 45

**Nesterenko O.V.**

Ontologically-driven information systems in the administrative management..... 57

### ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

**Stefanyshyn D.V.**

Logic-probabilistic modeling and forecasting of accidents on water retaining hydraulic structures of the Dnistrovsky waterworks (Part 1. Methodology, hypotheses and assumptions)..... 69

**Drobyazko A.O., Lyubich O.O.**

Express method for assessing bank financial strength..... 86

**Makarenko I.P., Rogozhin O.G.**

The system of EU innovation indicators as an instrument of the euro-integration processes ..... 101

**ABSTRACTS**..... 115

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**..... 120

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 316.422.44

<https://orcid.org/0000-0002-7195-8684>  
<https://orcid.org/0000-0001-9891-5417>  
<https://orcid.org/0000-0003-3358-6274>

**В.П. ГОРБУЛІН, С.К. ПОЛУМІЄНКО, О.М. ТРОФИМЧУК**

## **МЕТОДИ ОЦІНКИ ТА ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ НАЦІОНАЛЬНИХ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРОБОК**

***Анотація.** Розглядається проблема аналізу стану та ефективності використання науково-технологічних ресурсів, тобто діяльності у сфері досліджень та розробок. Вирішення проблеми пропонується на основі побудови відповідної системи індикаторів стану науково-технологічних ресурсів. Запропоновано та проаналізовано 24 базових індикатори стану сфери досліджень і розробок. Ці індикатори відображають всі аспекти наукової діяльності та характеризують фінансування наукової діяльності, ефективність використання нерухомого майна наукових установ, публікацію наукових результатів, в тому числі публікацію в наукометричних виданнях та окремі оцінки її необхідності тощо. Вводиться інтегральний індекс стану сфери досліджень та розробок, який визначається на основі введених базових індикаторів та фокусується на ефективності використання різнобічних науково-технологічних ресурсів. Пропонується підхід до визначення стратегій розвитку національних науково-технологічних ресурсів.*

***Ключові слова:** система індикаторів, інтегральний індекс, науково-технологічні ресурси, стратегії розвитку.*

**DOI: 10.35350/2409-8876-2019-15-2-5-20**

### **Вступ**

На сьогодні застосування та розробка високих технологій визначають потенціал розвитку країни, формують підґрунтя високого рівня добробуту населення. Оцінка рівня розвитку науково-технічного потенціалу визначається багатьма міжнародними організаціями задля порівняльного аналізу стану країн та регіонів та ґрунтується на різних інтегральних індексах та системах індикаторів – показниках, що відображають ключові фактори вихідної проблеми. Не менш важливим, крім порівняльної оцінки стану науково-технологічних ресурсів, є визначення національних стратегій їх розвитку та досягнення світового рівня, що й має забезпечити високий рівень розвитку країни.

Метою статті є визначення методів індикативного оцінювання рівня науково-технологічного розвитку країни та на цій основі – передумов стратегій розвитку науково-технологічного потенціалу країни.

## 1. Система індикаторів науково-технологічного розвитку

В [1] було проведено огляд різних методів оцінки рівня розвитку науково-технологічного потенціалу та визначено перелік показників, які найчастіше застосовуються для оцінки рівня досліджень і розробок (ДіР) в національній та міжнародній практиці (табл. 1).

Таблиця 1 – Показники стану науково-технологічних ресурсів

1	Кількість організацій	13	Кількість організацій, які ведуть підготовку аспірантів (докторантів)
2	Кількість наукових підрозділів	14	Чисельність аспірантів (докторантів), враховуючи вступ/випуск
3	Кількість наукових підрозділів з міжнародною участю	15	Чисельність захистів дисертацій
4	Чисельність персоналу	16	Кількість виконаних розробок
5	Кількість співробітників з науковим ступенем кандидата наук	17	Кількість виконаних фундаментальних досліджень
6	Кількість співробітників з науковим ступенем доктора наук	18	Кількість монографій
7	Бюджетні витрати на ДіР	19	Кількість наукових статей
8	Обсяг недержавних замовлень та договорів	20	Кількість наукових статей у міжнародних журналах
9	Обсяг міжнародних проєктів, договорів, грантів	21	Кількість патентних заявок та одержаних патентів
10	Обсяг заробітної плати	22	Кількість реєстрацій в Web of Science та Scopus
11	Кількість використаних передових технологій, засобів та ін.	23	Кількість посилань на опубліковані матеріали
12	Кількість створених передових технологій, засобів та ін.	24	Кількість премій, нагород, грантів та ін.

Розглянемо ці показники з точки зору їх інформативності для використання при розробці національної стратегії розвитку ДіР.

Показники 1–3 зустрічаються в основному в статистиці України, Білорусі та РФ, що збереглася з часів СРСР. В міжнародній практиці кількісні характеристики науково-дослідних організацій здебільшого відображають кількість співробітників та дослідників з науковим ступенем. На наш погляд, це має місце через те, що, з одного боку, зазначені показники відображають різнобічність ДіР в межах організацій, з іншого боку, – велика кількість

підрозділів відображає розпорошеність ДіР, особливо у випадку незначної чисельності їх співробітників. Водночас великі компанії та корпорації можуть діяти через свої дочірні підприємства і в національній статистиці матимуть вигляд невеликого підприємства. Тобто, кількість співробітників з урахуванням їх наукових ступенів коректніше відображає обсяг досліджень, ніж кількість організацій та підрозділів. Кількість підрозділів з міжнародною участю (показник 3) повніше визначається обсягом договорів з іноземними організаціями, кількістю іноземних фахівців, які беруть участь в національних ДіР та фінансуються через міжнародні договори, або кількістю національних науковців, які беруть участь в іноземних ДіР, котрі також фінансуються через міжнародні договори. Таким чином, показник 3 таблиці 1 дещо дублюється показником 9, який, проте, не викликає додаткових питань щодо кількості співробітників та обсягу їх участі в ДіР. Виходячи з цього, показники 1–3, а також 13 надалі опускаються на користь аналізу кількості фахівців, адже саме вони формують та виконують ДіР.

Кількість дослідників зі ступенем кандидата або доктора наук також слід розглядати як один показник через його потенційну постійну зміну, по-перше, через захисти дисертацій, що визначається окремим показником, по-друге, внаслідок суб'єктивних причин, що характеризують активність, якість, обсяг та інші фактори наукової діяльності, які можуть знівелювати результати кандидатів та докторів наук, по-третє, внаслідок вікових причин.

Гендерна характеристика участі у ДіР здебільшого притаманна міжнародним оцінкам. Але її корисність викликає певні сумніви. По-перше, на сьогодні авторам не відомі випадки утисків жінок в національних дослідженнях, по-друге, існує схильність жінок, як і чоловіків, до окремих галузей ДіР, яка «регулює» їх участь, по-третє, окремі дослідження пов'язані із загрозою для здоров'я жінок, що є не менш важливим фактором, тощо. Нарешті, якщо зорієнтувати оцінювання результатів наукової діяльності за предметними галузями, що й робитиметься далі, гендерна специфіка згладжується і не буде інформативною.

Бюджетне фінансування ДіР в національній та міжнародній практиці здебільшого характеризується тільки його обсягом та розміром зарплати співробітників. З іншого боку, зацікавленість в ДіР результатах характеризується обсягом приватних замовлень та договорів, міжнародних проєктів. Не менш важливою характеристикою є обсяг витрат на обладнання, енергозабезпечення, матеріали та комплектуючі, нові технології, на базі яких планується виконувати ДіР, створити нові продукти, технології або методи.

Крім цього, в умовах децентралізації влади в Україні, пропонується окремо розглядати витрати на ДіР в межах державного та регіональних бюджетів.

ДіР потребують певних приміщень та земельних ділянок, на яких вони розташовуються, тобто для повноцінного аналізу результатів ДіР необхідна оцінка нерухомого майна. Такі дані відсутні в національній статистиці. Те ж стосується зарубіжних досліджень, де обладнання та нерухоме майно здебільшого є приватною власністю компаній-виконавців ДіР, оцінювати ефективність використання якої є справою власника. В нашому випадку нерухоме майно є насамперед власністю держави, створене за бюджетні кошти, що формулює завдання його ефективного використання. Саме для цього введені відповідні індикатори.

Але таке використання насамперед вимагає подолання спротиву керівництва наукових установ та їх співробітників, зміни підходів до подальшої діяльності.

Вважається, що нерухомість можуть відібрати на користь приватного бізнесу, будівництва житлових, торгово-розважальних комплексів та ін. Частково це є слушним, але це майно можна не тільки відбирати, а й ефективно використовувати, можливо й розширювати у відповідності з потенційною діяльністю. Проте, зараз забувається про зміну кількості співробітників, методів, обсягів та результатів досліджень з часів, коли були створені ці установи. Їх стан треба підтримувати, взимку опалювати, що веде до зайвих витрат значних коштів, які можна було б направити й на зарплату співробітників, на оновлення обладнання та ін. Навряд чи робота в холодних приміщеннях, на застарілому устаткуванні, комп'ютерах приведе до конкурентоспроможності, якості та кількості одержаних результатів.

Додамо, що при аналізі будь-якого бізнес-плану оцінка приміщень, території, іншого наявного майна та обладнання є обов'язковою, оскільки впливає на фінансові результати проекту, його окупність та ін.

Показники 11–12 кількості використаних технологій застосовуються, скоріше, в національній практиці. Ця кількість є специфічною характеристикою дослідження, обґрунтованою необхідністю придбати технології, що регламентується умовами технічного завдання, яке узгоджується виконавцем та замовником на початку ДіР. Кількість створених технологій – теж неоднозначна оцінка ДіР. Адже, одна створена технологія – це сенсорне скло для смартфонів, програма меню того ж смартфона, або – технологія венеціанської штукатурки. Перша вимагає значних витрат на обладнання та дослідження, друга – менших витрат на апаратне та програмне забезпечення, третя має в порівнянні нульові витрати на обладнання та залежить від досвіду будівельника. Всі технології мають багатомільйонну аудиторію споживачів, але перші дві захищені патентами, складністю створеного продукту, остання – описана в Інтернет, можна навчитися безкоштовно. Перші дві технології в сукупності можуть дати їй власникам мільярдні доходи, остання – нормальну зарплату.

Тобто, кількість використаних та створених технологій не може служити оцінкою результатів ДіР. Більш важливими є необхідний обсяг витрат на них, масовість, наявний або потенційний дохід від використання результатів ДіР. Організація економічного співробітництва та розвитку аналізує створення та використання технологій через відповідний цьому процесу баланс витрат та надходжень.

Виходячи з цього, далі розглядається не кількість, а вартісна оцінка обсягу створених та використаних технологій. Це ж стосується й кількості розробок та фундаментальних досліджень. Прикладні розробки додатково будемо оцінювати обсягом потенційних надходжень, наприклад, протягом 3 років з моменту завершення розробки (такий відрізок часу диктується поточними темпами старіння багатьох технологій, особливо в ІТ та мікроелектроніці).

Також існують прикладні розробки, спрямовані на вирішення, зокрема, суто державних завдань, котрі через національну специфіку навряд чи матимуть міжнародне призначення або визнання, проте необхідні для розвитку країни. До таких розробок відносяться й ДіР у військово-оборонній сфері. Обсяг подібних, не призначених для безпосереднього або масового застосування ДіР будемо розглядати як окремий індикатор та вважати, що такі розробки можуть фінансуватися з державних, регіональних, приватних джерел, в тому числі міжнародних. Будемо називати такі ДіР цільовими.



Виконані ДіР (показники 18–20) характеризуються не тільки обсягами витрат та надходжень, а й їх результатами з точок зору наукової новизни, визнання, які зазвичай оцінюються через відповідні публікації та подальші посилання на них.

Але публікації далеко не завжди є однозначною оцінкою обсягу та якості проведених ДіР. По-перше, публікації можуть мати оглядовий характер, що власно не дає нічого нового, але при цьому даватимуть значну кількість посилань. По-друге, публікації іноді спеціально робляться неповними, не включають детального розгляду використаних моделей або методів, надаючи тільки результати їх використання. Разом з цим треба згадати й засекречені розробки, по котрих публікацій не буде взагалі. По-третє, відомі приклади, коли публікації робились задля заплутування наукової спільноти з комерційних та інших цілей. По-четверте, кількість посилань відображає не тільки важливість та рівень наведених в публікації результатів, а й популярність напрямків досліджень, їх авторів, сприйняття результатів науковим співтовариством, суспільством і бізнесом. Тобто, через посилання оцінюється не стільки розробка, скільки її автор. Для авторів це важливо й з точки зору найму на роботу. Слід додати, що й оцінювання ДіР на основі кількості підготовлених в їх межах публікацій, хай і дуже важливих, не вплине безпосередньо на стан економіки, природи чи добробут населення.

Підвищення кількості посилань можна досягнути й в інші, не зовсім праведні способи, прецеденти вже є. Не менш цікавим є випадок значного індексу посилань, який дала лише одна публікація. Виходить, що з позицій обсягу проведених досліджень, декілька нецитованих монографій виглядатимуть слабше, ніж така одна стаття. Але ж не кожна стаття є аналогом дисертації Ейнштейна... А якщо через декілька років ці монографії врешті-решт знайдуть відповідну оцінку й наберуть більший індекс?.. Оцінка ж розробки робиться сьогодні, вона сьогодні, а не в майбутньому матиме певні наслідки для її виконавців, котрим такі майбутні оцінки може й будуть не потрібними. Є ще одна проблема – перелік авторів публікації результатів ДіР не завжди відповідає переліку всіх її учасників, що робить оцінку ДіР за такою публікацією неповною та й недостовірною.

Публікація у міжнародних (наукометричних) виданнях має й інші додаткові труднощі. Незважаючи на існування багатьох видань, котрі приймають рукописи безкоштовно, без фінансових витрат для наших авторів цього досягнути проблематично. Насамперед необхідно зробити переклад роботи «носієм» іноземної, здебільшого англійської, мови. Ваша точка зору, що ви самостійно здатні зробити гарний переклад, в переважній більшості випадків є хибною. Іноді редакцією не приймаються й рукописи, перекладені носієм через неочікувані вами ускладнення. Зокрема, цей носій в більшості випадків не розбирається у ваших наукових дослідженнях і в термінології та застосовує зрозумілі йому поняття, які не відповідають вашим визначенням та предметній галузі досліджень.

Після цього іноді необхідні витрати на реєстрацію в певних базах даних автора або організації та ін. Далі йдуть можливі витрати на редагування (та публікацію) вашої роботи, надсилання вам оригінальної копії роботи після її публікації. В сукупності зазначене «тягне» на не менш ніж 100–200 дол. США та в кращому випадку місяці зо два очікувань позитивного рішення щодо опублікування.

При цьому, особливо в разі подання статей в безкоштовні видання, частіше, ніж в платних, можна одержати відповідь, що «ваш рукопис – не для наших

читачів, не відповідає спрямованості та (іншому) рівню нашого журналу та ін., зверніться до більш відповідного вашій дуже гарній статті видання». В чомусь це – правда, бо видання зорієнтовані на інтереси більш близької територіально, ментально та змістовно аудиторії. Тобто, треба виходити із зацікавленості до вашої роботи з точки зору видання, зрозуміти чого чекають від неї. Ваші, навіть дуже важливі, результати можуть бути просто нецікавими. Більш цікавим може буде сам автор, але для цього теж потрібні результати, прийнятні насамперед для відповідної виданню наукової спільноти.

Також, навряд чи будуть цікавими певні національні дослідження, які не застосовні в міжнародній практиці, хоча можуть бути прийняті з міркувань популяризації видання, розширення його аудиторії та ін. Наприклад, розглянути проблеми якого-небудь племені, народу, що точно не відноситься до ваших життєвих інтересів, але цікаво з точки зору «як же живуть люди?». Навпаки, міжнародні публікації мало дадуть й національному розвитку, який тут розглядається як одне з головних завдань науково-технологічної діяльності, оскільки задля забезпечення міжнародної зацікавленості на проблеми суто національного розвитку такі публікації, скоріш за все, й не орієнтуватимуться, хоча будуть цікавими з погляду наведених різнобічних оцінок або індексів.

Виходячи з викладеного та неоднозначності оцінок кількості публікацій та посилань на них, відповідні показники будемо розглядати далі як поправочні коефіцієнти.

Тоді, публікації, сприяючи підвищенню оцінки рівня ДіР, розглядаються як фактори просування результатів ДіР, яке має виконуватися як її авторами, так і організацією, де вони працюють. Але на сьогодні наші автори та організації до цього не звикли, оскільки національні ДіР ґрунтуються на поданні нових тем, їх затвердженні замовниками (керуючими організаціями), подальшому фінансуванні з бюджету, підготовці публікацій та звітів і завершуються не маючими фінансової складової актами впровадження.

Ця циклічна схема національних ДіР тягнеться ще з часів СРСР. Тоді вона давала результати саме через плановість економіки, особливо це стосувалось військово-оборонної тематики. Також був інший рівень зарплати науковців (з науковим ступенем) та престижу наукової діяльності в суспільстві. В сучасних умовах ця схема не дає бажаного фінансування та зарплати науковців. Може, проблема в тім, що результати запропонованих ДіР, які планується одержати, не мають фінансової складової, яка є основою будь-якого інноваційного та інвестиційного проекту?

Якщо виходити з типової структури інвестиційного проекту, до мети ДіР, крім наукових результатів, слід додавати детальний аналіз всіх факторів створення нового продукту або технології, потенційного ринку їх збуту, можливих ризиків, визначення споживачів продукції або послуг, також проект ДіР має враховувати виробничо-маркетингові витрати, відображати фінансово-економічні оцінки ефективності з точок зору комерційного ефекту, використання наявного майна, робочої сили та ін.

Фундаментальні дослідження при такій схемі можуть фінансуватися як накладні витрати інших ДіР, при цьому вони мають розглядатися як база майбутніх прикладних ДіР та включати кадрову підготовку, підтримку іміджу організації тощо.

В підсумку пропонуються такі індикатори рівня розвитку ДіР (табл. 2).

Таблиця 2 – Перелік базових індикаторів стану науково-технологічних ресурсів

Базові індикатори по галузі досліджень $i$	Позначення
Чисельність персоналу	$r_1$
Кількість співробітників з науковим ступенем	$r_2$
Кількість аспірантів (докторантів)	$r_3$
Кількість захистів дисертацій	$r_4$
Площа земельних ділянок	$r_5$
Вартість нерухомого майна (будинки та споруди)	$r_6$
Вартість основних засобів	$r_7$
Витрати на матеріали, комплектуючі тощо	$r_8$
Витрати на технологічні інновації, обладнання	$r_9$
Витрати на заробітну плату	$r_{10}$
Витрати на ДіР з державного бюджету	$r_{11}$
Витрати на ДіР з регіонального бюджету	$r_{12}$
Витрати на фундаментальні дослідження та цільові ДіР з державного та регіонального бюджетів	$r_{13}$
Обсяг ДіР у приватному секторі (в тому числі цільових)	$r_{14}$
Обсяг експорту, міжнародних договорів, грантів	$r_{15}$
Очікуваний обсяг доходів від реалізації результатів ДіР	$r_{16}$
Очікуваний обсяг експорту від реалізації результатів ДіР	$r_{17}$
Кількість монографій	$r_{18}$
Кількість наукових статей, в тому числі в міжнародних журналах	$r_{19}$
Кількість патентних заявок	$r_{20}$
Кількість посилань на опубліковані матеріали	$r_{21}$
Кількість премій, нагород, грантів та ін.	$r_{22}$

Наведені індикатори розглядаються як оцінки  $r_{i,j}$  частки відповідного ресурсу регіону  $j$ , що відповідає предметній галузі ДіР  $i$  в його національному обсязі  $r_i$ . Для точнішої картини можна розглядати значення  $r_i$  як національну частку відповідного ресурсу в його міжнародному обсязі, але це вимагає значних витрат на знаходження відповідних даних.

Величини  $r_{i,j}$  змінюються в межах від 0 до 1, є безрозмірними, що дозволяє ввести агреговані оцінки різних науково-технологічних ресурсів.

## 2. Індекс та стратегії науково-технологічного розвитку

У відповідності з табл. 2 для оцінки персоналу предметної галузі ДіР  $i$  регіону країни  $j$  будемо виходити, по-перше, з оцінок його відносної чисельності  $r_{i,j,1}$  (до позначень ресурсів з табл. 2 тут і далі додаються індекси предметної галузі та регіону), по-друге, з відносної кількості фахівців з науковим ступенем  $r_{i,j,2}$  та кількості захищених дисертацій  $r_{i,j,4}$ . Також разом з величиною чисельності персоналу  $r_{i,j,1}$  будемо розглядати кількість аспірантів (докторантів)  $r_{i,j,3}$ , оскільки вони теж беруть участь у виконанні науково-виробничих завдань.

В підсумку введемо величину

$$a_{i,j,1} = (r_{i,j,1} + r_{i,j,2} + r_{i,j,3} + r_{i,j,4})/4,$$

яку й будемо використовувати як оцінку персоналу.

За побудовою, збільшення  $a_{i,j,1}$  означає поліпшення ситуації в кадровому забезпеченні ДіР. Виходячи зі значень  $r_{i,j,*}$ ,  $a_{i,j,1}$  змінюється в межах від 0 до 1.

Через величину

$$a_{i,j,2} = (r_{i,j,5} + r_{i,j,6} + r_{i,j,7})/3$$

будемо оцінювати відносний обсяг нерухомого майна та обладнання, наявного в установах предметної галузі  $i$  регіону  $j$ ,  $0 \leq a_{i,j,2} \leq 1$ .

Процес виконання наукових досліджень будемо відображати відносними оцінками обсягу виробничих витрат на проведення ДіР та зарплати співробітників –

$$a_{i,j,3} = (r_{i,j,6} + r_{i,j,7} + r_{i,j,8} + r_{i,j,9})/4 \text{ та } a_{i,j,4} = r_{i,j,10}.$$

Як і вище,  $0 \leq a_{i,j,3} \leq 1$ , але, на відміну від  $a_{i,j,1}$ , збільшення  $a_{i,j,2}$  та  $a_{i,j,3}$  не означає збільшення рівня ДіР, а характеризує лише обсяг виробничих витрат на них.

Крім цього, виконані ДіР будемо оцінювати на основі їх підсумкових фінансових та наукових результатів, зокрема, через кількість публікацій та їх визнання.

На сьогодні в Україні ключовим фактором фінансування ДіР є державний або регіональний бюджет, останнє стає актуальним завдяки децентралізації влади. Це ж стосується цільових ДіР, які виконуються, виходячи з завдань, необхідних різним органам влади, тобто маємо суму відносних величин  $r_{i,j,11} + r_{i,j,12} + r_{i,j,13}$ .

Як установи, так і окремі фахівці можуть одержувати додаткові доходи від проведених за інші кошти досліджень, останні, зокрема, можуть працювати в декількох організаціях. Враховуючи це, сформуємо величину

$$a_{i,j,5} = ((1 + r_{i,j,14}) * (1 + r_{i,j,15}) * (r_{i,j,11} + r_{i,j,12} + r_{i,j,13})/3 + (r_{i,j,16} + r_{i,j,17})/2)/5,$$

де введені, по-перше, поправки, які відображають комерційний ефект від реалізації результатів розробок, участь в міжнародних дослідженнях, експорт створеної продукції, по-друге, оцінки очікуваних доходів від ДіР, які знаходяться на початковій стадії. Цифра «5» є нормуючим коефіцієнтом,  $0 \leq a_{i,j,5} \leq 1$ .

Кількість публікацій та їх цитування будемо оцінювати величиною –

$$a_{i,j,6} = (r_{i,j,18} + r_{i,j,19} + r_{i,j,20} + r_{i,j,21} + r_{i,j,22})/5.$$

Інтегральна оцінка процесу виконання ДіР має відображати всі його аспекти. Перш за все, будемо вважати, що метою розвитку є обсяги доходів від науково-технологічної діяльності як організацій, так і окремих осіб. Інші критерії будемо відносити на другий план. Тоді, завданням є збільшення величин  $a_{i,j,5}$  та  $a_{i,j,6}$ , або ж максимізація їх усередненої суми  $a_{i,j,4-5} = (a_{i,j,4} + a_{i,j,5})/2$ , яка краще відображає

важливість підвищення обох ключових факторів ДіР. Відношення  $a_{i,j,4-5}/a_{i,j,2-3}$ , де  $a_{i,j,2-3}=(a_{i,j,2}+a_{i,j,3})/2$ , буде відображати ефективність доходів/витрат в процесі проведення ДіР. Якщо до  $a_{i,j,4-5}$  додати поправку за оцінкою кількості публікацій  $a_{i,j,6}$ , а до  $a_{i,j,2-3}$  – поправку за оцінкою персоналу  $a_{i,j,1}$ , то оцінка ефективності ДіР включатиме й ці характеристики.

Таким чином, сформуємо агреговану оцінку - індекс рівня розвитку науково-технологічного потенціалу галузі ДіР  $i$  регіону країни  $j$  –

$$A_{i,j} = \frac{(1 + a_{i,j,6}) * a_{i,j,4-5}}{(1 + a_{i,j,1}) * a_{i,j,2-3}} = \frac{(1 + a_{i,j,6}) * (a_{i,j,4} + a_{i,j,5})}{(1 + a_{i,j,1}) * (a_{i,j,2} + a_{i,j,3})} \quad (1)$$

Розглянемо для ілюстрації спрощений приклад використання наведеної методики оцінки. Будемо вважати, що розглядаються певні 5 галузей досліджень, оцінка виконується на основі теж 5 індикаторів з чисельності персоналу та персоналу з науковим ступенем, обсягу витрат та доходів, кількості публікацій. Введемо їх числові величини та розраховані відносні значення.

Таблиця 3 – Приклад розрахунку оцінки стану галузей ДіР

	Галузь досліджень і розробок					Всього
Чисельність персоналу	1000	3000	2000	2000	3000	11000
$r_1$	0,091	0,273	0,182	0,182	0,273	1
Кількість співробітників з науковим ступенем	200	400	450	400	500	1950
$r_2$	0,103	0,205	0,231	0,205	0,256	1
$a_1 = (r_1 + r_2)/2$	0,097	0,239	0,206	0,193	0,265	
Витрати на ДіР з державного бюджету	10	30	20	20	30	110
$r_{11}$	0,091	0,273	0,182	0,182	0,273	1
Очікуваний обсяг доходів від реалізації результатів ДіР	12	35	25	20	40	132
$r_{16}$	0,091	0,265	0,189	0,152	0,303	1
Комерційний ефект від реалізації результатів ДіР, $a_2 = r_{16} - r_{11}$	0,000	0,008	0,008	-0,030	0,030	
Результат, $R = (1 + a_2) * a_1$	0,091	0,271	0,183	0,176	0,281	
Кількість наукових статей	200	280	250	250	200	1180
$r_{19}$	0,169	0,237	0,212	0,212	0,169	1
Результат з публікаціями, $P = R * (1 + r_{19})$	0,106	0,335	0,222	0,214	0,329	
Результат з публікаціями (усереднений), $P = (R + r_{19})/2$	0,130	0,254	0,198	0,194	0,225	

Сірим фоном виділено галузі – лідери за окремими порівняльними оцінками. Галузь 5 лідирує за кількістю персоналу з урахуванням кількості співробітників з науковим ступенем та за обсягом очікуваних доходів від реалізації результатів ДіР. Галузі 2 та 5 мають однакову кількість співробітників та обсяг фінансування. При цьому в галузі 5 вдвічі більші, ніж в галузі 2, очікувані доходи від впровадження результатів ДіР.

Галузь 1 має порівняно з іншими галузями менші значення показників. Але очікуваний обсяг доходів складає 20% від обсягу фінансування, що більше, ніж у галузях 2 та 4 у відсотковому виразі. Проте це значення в порівнянні з іншими «дає» нульовий ефект, не кажучи про галузі 2 та 4, де ці значення від'ємні.

Але, незважаючи на таке від'ємне значення, з урахуванням відносної кількості публікацій галузь 2 виходить в лідери серед всіх галузей за всією сукупністю показників. Тобто, у порівнянні з іншими збиткова галузь ДіР стає в підсумку лідером, випередивши апіорі провідну галузь 5.

Таким чином, одержуємо, що більша кількість публікацій «підіймає» рейтинг збиткових галузей ДіР. Виникає питання: а що краще – в перспективі мати фінансування, високу зарплату або більшу кількість публікацій, котра не завжди приводить до збільшення доходів. В поточній ситуації сфери ДіР, на наш погляд, перший варіант виглядає перспективнішим.

Цей приклад показує також, що для узгодження підсумкових оцінок потрібно зважувати показники та визначати їх властивості. Для цього пропонуються наступні якісні оцінки, які включаються до визначення агрегату  $A_{i,j}$ .

Будемо визначати такі оцінки з використанням п'ятибальної шкали (від 0 до 4):

–  $q_1(A_{i,j})$  – рівень кваліфікації співробітників наукових установ, підприємств та організацій;

–  $q_2(A_{i,j})$  – рівень активності наукових організацій та їх співробітників;

–  $q_3(A_{i,j})$  – рівень зацікавленості співробітників у практичному використанні одержаних результатів;

–  $q_4(A_{i,j})$  – рівень зарплати;

–  $q_5(A_{i,j}) - q_7(A_{i,j})$ , – рівень зацікавленості в результатах ДіР в регіоні, країні та світі;

–  $q_8(A_{i,j}) - q_{10}(A_{i,j})$ , – рівень використання результатів ДіР в регіоні, країні та світі;

–  $q_{11}(A_{i,j})$  – рівень публікацій та патентів;

–  $q_{12}(A_{i,j})$  – рівень традицій наукової діяльності в регіоні;

–  $q_{13}(A_{i,j})$  – рівень визнання науковців в регіоні;

–  $q_{14}(A_{i,j})$  – рівень популярності ДіР серед молоді регіону;

–  $q_{15}(A_{i,j})$  – рівень забезпечення організацій обладнанням та матеріалами;

–  $q_{16}(A_{i,j})$  – рівень готовності до промислової експлуатації результатів ДіР тощо.

З урахуванням якісних оцінок, інтегральна оцінка – індекс рівня розвитку науково-технічного потенціалу регіону має вигляд –

$$Aq_{i,j} = A_{i,j} * q(A_{i,j}), \quad q(A_{i,j}) = \frac{1}{80} \sum_{p=1}^{16} q_p(A_{i,j}),$$

де 80 – нормуючий коефіцієнт (16 якісних оцінок за 5-бальною шкалою).

Зауважимо, що  $Aq_{i,j}$  можна розглядати з урахуванням вагових коефіцієнтів важливості видів ресурсів, відпрацювання оцінок яких потребує аналізу реальних даних.

Суми

$$Aq_j = \sum_i Aq_{i,j} \text{ та } Aq_i = \sum_j Aq_{i,j} \quad (2)$$

відповідно відображають характеристику науково-технологічного потенціалу регіону країни  $j$  та сукупну характеристику науково-технологічних ресурсів предметної галузі  $i$ .

Мінімальне, середнє або в інший спосіб визначене по інтегральній оцінці (2) значення можна визначити як індекс рівня розвитку національного науково-технологічного потенціалу.

Вираз (1) об'єднує звичні критерії ефективності – відношення одержаних результатів досліджень і розробок на одиницю різнобічних витрат на них – необхідних нерухомого майна та обладнання, витрат на проведення ДіР і співробітників. Інтегральні оцінки (2), які включають і якісні оцінки, відображають кількісну та якісну характеристику стану науково-технологічних ресурсів.

Зміну цього стану внаслідок виконання певних стратегій (дій учасників сфери ДіР) з розвитку науково-технологічного потенціалу можна оцінювати, таким чином, як зміну оцінок (1)–(2). Якщо прийняти, що якісні оцінки не змінюються на певному проміжку часу, що на невеликих проміжках часу відповідає практиці, то можна перейти до аналізу стратегій на основі (1).

Виділимо такі групи основних учасників (гравців), діяльність яких стосується ДіР:

- a) державні наукові організації та установи;
- b) приватні виробничі, наукові та інші підприємства;
- c) індивідуальні фахівці;
- d) органи влади.

Визначимо стратегію кожної з груп учасників як вектор

$$s_{i,j,*} = (a_{i,j,1,*}, a_{i,j,2,*}, a_{i,j,3,*}, a_{i,j,4,*}, a_{i,j,5,*}, a_{i,j,6,*}), \quad (3)$$

який складається з введених оцінок:  $a_{i,j,1}$  – персоналу;  $a_{i,j,2}$  – обсягу нерухомого майна;  $a_{i,j,3}$  – виробничих витрат;  $a_{i,j,4}$  – зарплати співробітників;  $a_{i,j,5}$  – доходів від ДіР;  $a_{i,j,6}$  – публікацій за результатами ДіР у відношенні до груп учасників, позначених \*.

Вектор  $s_{i,j} = (s_{i,j,a}, s_{i,j,b}, s_{i,j,c}, s_{i,j,d})$ , який визначає стратегії всіх учасників галузі досліджень  $i$  регіону  $j$  або, в теоретико-ігровій термінології [2–3], ситуацію, що склалася в сфері ДіР, можна розглядати як сукупну стратегію виконання (та підтримки) всієї сукупності ДіР. Стратегія розвитку сфери ДіР, таким чином, полягатиме у підвищенні агрегованих оцінок (1). У спрощеному вигляді її можна визначити як дії зі зменшення перших трьох та збільшення останніх трьох компонент векторів (3).

Безпосередній вплив на створення науково-технологічних ресурсів, тобто на компоненти вектору (3), мають наукові організації та індивідуальні фахівці, які

формують напрямки майбутніх ДіР та виконують них. Природно, цей вплив залежить від обсягів фінансування (компоненти  $a_{i,j,2}$ ,  $a_{i,j,3}$ ;  $a_{i,j,4}$ ), яке зараз насамперед здійснюється органами влади, виходячи з наявного бюджету. На сьогодні обсяги коштів, що виділяються, не відповідають обсягам фінансування ДіР, притаманним сучасній міжнародній практиці. На сьогодні, навіть бажаючи підвищити рівень фінансування ДіР, держава не зможе довести його до відповідного світового рівня через обмаль бюджетних коштів. Але ж не можна чекати, коли бюджет стане достатнім за рахунок доходів від інших видів діяльності, які зараз теж залежать від застосування результатів ДіР.

Необхідні нові національні стратегії розвитку ДіР, які враховують дії всіх учасників цього процесу та його обставини. Найбільший ефект таких стратегій природно очікувати в разі одержання всіма учасниками користі відповідно до зробленого ними внеску в процес використання та створення науково-технологічних ресурсів, тобто в разі узгодження їх вихідних інтересів та внесків. В теоретико-ігровій термінології таке узгодження є результатом виконання певного принципу оптимальності, в межах ресурсної моделі [3] – побудованого на основі вектору Шеплі, за яким виграш визначається оптимальним поділом, відповідним стратегіям та внескам коаліцій у всіх можливих ситуаціях.

При виконанні цього принципу оптимальності органи влади, як одна з коаліцій моделі розвитку ДіР, має одержувати відповідний їх (фінансовому) внеску в розвиток ДіР виграш. Але в національній практиці органи влади, фінансуючи практично всіх учасників системи (насамперед групи а) та с)), не одержують відповідного виграшу через відсутність практичного застосування ними результатів більшості ДіР. Виходить, що всі ДіР є або цільовими, або фундаментальними, що, з одного боку, не відповідає дійсності, з іншого – всі ДіР не можуть бути такими, оскільки не дадуть користі всьому суспільству, хоча й можуть дати її науці в цілому. Учасники групи b), а також а) та, особливо, групи с) мають всі можливості використовувати одержані, в тому числі за державні кошти, доходи (виграші) у власних інтересах. Це може сприяти задоволенню інтересів влади як представника інтересів всієї системи щодо потенційного зростання рівня економіки та добробуту. Але це можливо лише при істотних обсягах застосування результатів ДіР та потребує значного часу для досягнення цих обсягів.

Іншими словами, існуюча система фінансування сфери ДіР є незбалансованою та потребує насамперед узгодження інтересів органів влади та інших учасників, яке може ґрунтуватися на визначенні комерційного ефекту від фінансування та виконання ДіР.

Але стратегії фінансування з урахуванням комерційного ефекту результатів проведених ДіР «не зовсім збігаються» з інтересами наукових організацій та науковців, оскільки вимагають від них незвичного підходу, який вимагає й відповідальності за фінансові результати виконаної роботи. Це ще одна суперечність існуючої схеми діяльності сфери ДіР, яка додатково стосується бажання одержання високих зарплат, поваги в суспільстві тощо.

За «комерційних» умов працюють приватні науково-виробничі підприємства, для яких ДіР забезпечують конкурентоспроможність створених продуктів та саме існування й перспективи розвитку. Це характерно для практично всіх міжнародних корпорацій, які випускають масові продукти. Це ж стосується індивідуальних фахівців, для яких ДіР складають основу життєдіяльності, яка забезпечується ними за допомогою створених технологій, продуктів або знань,



переданих національним або міжнародним інституціям, в тому числі як найманими працівниками.

Детальніше поточні, звичні (крім чотирьох останніх), стратегії в сфері ДіР, спрямовані на збільшення компонент  $a_{i,j,4,*}$ ,  $a_{i,j,5,*}$ ,  $a_{i,j,6,*}$  вектору (3), можна охарактеризувати наступним чином:

- формування та пропозиція наукових ідей та проектів ДіР;
- виконання ДіР (в тому числі одержання зарплати працівниками);
- залучення бюджетних коштів, замовлень, проектів, інвестицій;
- одержання доходів від продажу нових продуктів, технологій, надання послуг;
- публікація результатів ДіР, затвердження пріоритету результатів досліджень;
- збільшення наукометричних індексів;
- забезпечення іміджу, інвестиційної привабливості, інтересу до організації, реклама та популяризація ДіР, що проводяться нею;
- забезпечення конкурентоспроможності через створення нових продуктів;
- забезпечення комерційного ефекту результатів ДіР.

Ці стратегії більшою мірою відносяться до груп а) – с), виконуються ними одночасно як складові сукупної стратегії. Їх реалізація неможлива без витрат, що описуються компонентами  $a_{i,j,1,*}$ ,  $a_{i,j,2,*}$ ,  $a_{i,j,3,*}$ , до яких насамперед відносяться:

- науково-виробничі витрати;
- стимулювання публікації у наукометричних виданнях;
- рекламні, презентаційні витрати;
- забезпечення ефективності господарської діяльності, ресурсного забезпечення виконання ДіР, належної зарплати співробітників та їх кількості в залежності від напрямків та обсягів досліджень, що виконуються;
- оптимізація експлуатаційних витрат, обсягів необхідного майна;
- надання майна в оренду, передача (частини) наявного нерухомого майна на користь третіх осіб (державі);
- об'єднання організацій та їх підрозділів задля скорочення експлуатаційних витрат, обсягів «вільного» нерухомого майна, що знаходиться у використанні;
- пропозиція спільних проектів, ДіР, просування національних проектів на міжнародному рівні.

Перелічені узагальнені стратегії стосуються насамперед керівників досліджень та організацій. До традиційних витратних стратегій додані стратегії з просування ДіР, з ефективності використання необхідного для ДіР майна та виробничих витрат. Все це має ґрунтуватися на заздалегідь визначених пріоритетних проблемах та завданнях, що слідує з національних та регіональних маркетингових цілей та інтересів, з відповідного комерційного ефекту ДіР або з їх цільового чи фундаментального спрямування. При цьому дохід, одержаний від результатів ДіР, й забезпечуватиме фінансування фундаментальних досліджень.

Таким чином, можна визначити узагальнені стратегії керівництва сфери ДіР та органів влади, що її фінансують. Крім зазначених вище, ці стратегії мають включати:

- визначення конкретних пріоритетів ДіР, напрямків та очікуваного комерційного ефекту використання їх результатів – вплив на підприємства,

створені робочі місця, в тому числі в суміжних галузях, потенційний рівень зарплати виконавців ДіР та ін.;

– визначення переліку конкретних ДіР, які мають спрямовуватися не на певні організації чи керівників, а на завдання, визначені пріоритетами та потенційним комерційним ефектом ДіР; такі завдання з досвіду програм ЄС можуть визначатися й авторами спільних проектів, які надалі затверджуються відповідними експертами; до речі, такий підхід дозволяє не займатися хибним рейтингуванням співробітників та установ за наукометричними та іншими оцінками, що регулюватиметься самими учасниками певного проекту;

– формування консорціумів, груп виконавців ДіР, залучення інвесторів, в тому числі на конкурсній основі;

– визначення цільових ДіР та інвестицій, спрямованих на вирішення ключових проблем в країні та в її регіонах;

– визначення інвестиційних засад фінансування ДіР з урахуванням та оптимізацією всіх комерційно-виробничих факторів їх виконання;

– визначення обсягів фінансування організацій та установ, які, по-перше, мають характер національної історико-культурної, природної, наукової та іншої спадщини, по-друге, спрямовані на пріоритетні фундаментальні дослідження, тобто організацій, які не можуть дати істотного комерційного ефекту, але підтримують належний рівень традицій, знань та іміджу наукових установ в країні;

– створення пільгових умов, переваг інвестування та використання національних розробок та фахівців для залучення національних та міжнародних компаній до підтримки ДіР в Україні;

– нематеріальна підтримка ДіР, відновлення престижу наукової діяльності, забезпечення підвищеного рівня заробітної плати в науково-технологічній сфері, в тому числі за рахунок підвищення ефективності витрат на ДіР, створення науково-технологічних парків, залучення зарубіжних компаній та ін.

Слід додати, що сьогодні в НАН України проводиться оцінювання організацій з метою визначення їх категорій. Але воно не змінює поточних стратегій розвитку ДіР, до яких додається лише збільшення наукометричних індексів. Це, крім кількості відповідних публікацій, навряд чи вплине на збільшення, особливо національних, науково-технологічних ресурсів. Як зазначалося, ці індекси можуть бути основою для знаходження установ-співвиконавців та подальших спільних робіт, але набагато простіше й дешевше найняти самих авторів публікацій, які мають ті самі індекси для участі у спільних (закордонних) проектах та безпосередньо контролювати їх діяльність. Виходить, що ми самі створюємо базу для пресловутого «витікання мізків», запорукою чого стануть ті самі збільшені внаслідок вимог керівництва наукометричні індекси, які відносяться до авторів публікацій, а не до установ, де вони працюють.

Крім цього, також можна сказати, що більшість з перелічених стратегій виконувалась та виконується зараз, але сфера ДіР як була, так і залишається в занепаді. Може, треба звернути увагу на відносно нові для нас стратегії? Це знов-таки визначення пріоритетів ДіР з урахуванням їх комерційного та соціального ефекту, оптимізація різнобічних витрат на дослідження. Тоді, приміром, поетапна стратегія розвитку, спрямована на збільшення оцінок (1), може виглядати наступним чином.

## **Висновки**

Замість висновку, або приклад формування узагальненої стратегії розвитку.

Вихідною точкою формування стратегії розвитку є визначення пріоритету – наприклад, енергозабезпечення країни за рахунок використання сонячних електростанцій.

Мета ДіР – створення виробництва та продаж сонячних електростанцій власного виробництва на національному та міжнародних ринках, що включає розробку сонячних батарей не менш ніж, наприклад, 120% енергоефективності (для початкової стадії проекту) в порівнянні з кращими міжнародними зразками, створення необхідного суміжного обладнання, програмних та мікроелектронних засобів автоматичного керування сонячними електростанціями, створення їх промислового виробництва та продаж всім зацікавленим сторонам.

Ринок збуту цієї продукції – практично необмежений (умовно), особливо в національному розрізі, що обґрунтовує вихідну доцільність проекту.

Партнери проекту – національні та міжнародні інститути, підприємства та корпорації, для яких забезпечуються пільгові умови для вкладення інвестицій та, в разі необхідності, державні гарантії. На сьогодні, враховуючи, що на міжнародному рівні депозити мають практично нульові відсотки, це можуть бути не дуже обтяжні умови. Партнери обираються за аналогією з рамковими програмами ЄС, але з урахуванням потенційного не тільки наукового, а виробничо-комерційного внеску, вибір може ґрунтуватися на тендерних засадах формування консорціуму виконавців проекту.

Визначення маркетингових стратегій виробництва, що створюється за проектом, календарного плану робіт з його виконання, відповідальних сторін, ризиків та ін.

Визначення місця розташування науково-технологічної, промислової та експериментальної бази виробництва, що створюється за проектом.

Визначення дослідницьких, виробничих, торгових та інших витрат, умов інвестицій, сплати кредитних коштів по них, оцінка фінансових показників проекту.

При виконанні цього проекту керівництво сфери ДіР, органи влади, крім функцій фінансування, що мають базуватися на пільгових кредитно-інвестиційних підходах, виконують функції просування проекту, узгодження інтересів його партнерів, розподілу одержаних доходів на фундаментальні та цільові ДіР, тобто виконують оновлені функції корпоративного управління всією сферою ДіР.

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Горбулін В.П., Полумієнко С.К., Стрижак О.Є. Індикативне оцінювання науково-технологічного розвитку: методологічний аспект. Стратегічна панорама, 2018, №1. С. 5-19.
2. Polumiienko, S., Rybakov L., Trofymchuk O. (2013). The Game-Theoretical Approach to the Simulation of Sustainable Development Strategies // Journal of Earth Science and Engineering, No. 3, pp. 337-340.
3. Полумієнко С.К., Стрижак О.Є., Трофимчук О.М. Ресурсно-онтологічний підхід до оцінки рівня національного розвитку // Математичне моделювання в економіці, 2016. № 3–4. С. 7-26.

## REFERENCES

1. Horbulin V.P., Polumiienko S.K., Stryzhak O.Ie. Indykativne otsynuvannya naukovo-tekhnologichnoho rozvytku: metodolohichnyy aspekt / Stratehichna panorama, 2018, №1. pp. 5-19. (In Ukrainian).
2. Polumiienko, S., Rybakov L., Trofymchuk O. The Game-Theoretical Approach to the Simulation of Sustainable Development Strategies, Journal of Earth Science and Engineering, 2013, No. 3, pp. 337-340.
3. Polumiienko S.K., Stryzhak O.Ye., Trofymchuk O.M. Resursno-ontolohichnyy pidkhid do otsinky rivnya natsional'noho rozvytku // Matematychni modelyuvannya v ekonomitsi, 2016. №3-4, pp. 7-26. (In Ukrainian).

*Стаття надійшла до редакції 31.05.2019.*

**С.О. ГОЛУБЕВ, О.Г. ЛЕБІДЬ, Д.І. ЧЕРНІЙ**

## **ЗАСОБИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ГАЛУЗІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ГІДРОДИНАМІКИ**

***Анотація.** Представлено аналіз схем побудови програмно-моделюючих систем в галузі обчислювальної гідродинаміки. Висвітлено основні недоліки більшості існуючих загальновідомих програмно-моделюючих систем та перспективні напрямки подолання виявлених недоліків. Показано, що перспективним напрямком є створення комп'ютерних прогнозуючих комплексів на основі програмно-моделюючих систем із застосуванням комплексних моделей та обчислювальних технологій. Визначено вимоги та запропоновано схему побудови програмно-моделюючої системи для прогнозування еволюції процесів взаємодії течій з конструкціями, що рухаються та деформуються.*

***Ключові слова:** математичне моделювання, програмно-моделююча система, обчислювальна гідродинаміка*

**DOI: 10.35350/2409-8876-2019-15-2-21-39**

### **Вступ**

У гідродинаміці експериментальні та теоретичні методи наукових досліджень існують у тісному взаємозв'язку. Наприклад, під час експерименту у водному каналі або аеродинамічній трубі може бути виявленим нове явище. Далі робиться спроба пояснити його в рамках теорії, що вже існує, побудувати математичну модель для явища і фізичних величин, які спостерігаються. Для верифікації побудованої моделі проводяться експерименти з метою підтвердити її коректність.

Експеримент може бути проведений або у лабораторії, або у природному середовищі – це так званий натурний експеримент. Але підготовка експерименту має матеріальні та технічні обмеження. До того ж проведення таких експериментів – це окрема інженерна задача із забезпечення необхідних умов при проведенні експерименту (напр., певної сталої швидкості води у каналі), спостереження якісної картини явища (напр., ліній току повітря за допомогою диму) та вимірювання фізичних величин (напр., тиску п'єзоелектричними датчиками). Як один з наслідків – такі експерименти обмежені у кількості точок спостереження та діапазоні зміни параметрів.

Розвиток комп'ютерної техніки привів до появи нового виду експерименту – комп'ютерного, або обчислювального (чисельного). На відміну від натурального експерименту, для проведення обчислювального експерименту необхідними є лише наявність відповідного програмного забезпечення та обчислювальних потужностей.

Для багатьох випадків достатньо звичайного персонального комп'ютера. Більш того, комп'ютерна програма, на відміну від витратних матеріалів та експериментального устаткування, допускає повторне використання та копіювання необмежену кількість разів.

Обчислювальний експеримент не може стати повною заміною натурному експерименту, тому що сам потребує верифікації як метод. Але в багатьох випадках він може бути аргументовано його заміною. Таким чином, обчислювальний експеримент займає своє місце у процесах наукових досліджень та інженерної розробки. На рисунку 1 наведено схему аналітичної підготовки проведення обчислювального експерименту у гідродинаміці [1].



Рисунок 1 – Схема аналітичної підготовки проведення обчислювального експерименту у гідродинаміці

Економічно обґрунтована привабливість обчислювального експерименту як методу зумовила його широке застосування в інженерній справі для потреб промислового виробництва. Системне застосування комп'ютерної техніки стимулювало розвиток чисельних методів. Чисельні методи лягали в основи обчислювальних технологій, які у свою чергу реалізовувалися у формі комп'ютерних програм. Деякі з таких програм, що початково розроблялися для власних потреб (дослідника або лабораторії), розширювалися розробниками для більшого кола користувачів, після чого розповсюджувалися. В подальшому це привело до створення комерційних пакетів програм, а також безкоштовних пакетів з відкритим кодом – для інженерних та наукових розрахунків.

### 1. Відомі скінченно-елементні пакети програм

Розробка комерційних програм для інженерних розрахунків почалася з появою можливості тиражування програмного забезпечення. Можливості сучасних інженерних програмних систем достатньо розвинуто у напрямку спрощення поєднання розрахунків з різних областей фізики (це так звані задачі мультифізики) та поглиблення автоматизації та інтеграції всього процесу інженерної розробки (CAE – computer-aided engineering). Нижче наведено огляд можливостей найбільш відомих програмних систем інженерного та наукового спрямування.

#### ANSYS Fluent, ANSYS CFX

Одними з найвідоміших у галузі є програмні продукти компанії ANSYS, Inc. Компанія є лідером з продажу програмного забезпечення в галузі обчислювальної гідродинаміки (Computational Fluid Dynamics, CFD) [2, 3]. Вона була створена

у 1970 р. у США інженером Dr. John A. Swanson. В основу було покладено його ідею створити програму загального призначення для розрахунків методом скінченних елементів на базі наробок лабораторії, в якій він працював. Сьогодні ця компанія налічує майже 3000 співробітників, купує та поглинає менші компанії з галузі.

Для задач обчислювальної гідродинаміки серед програмних продуктів ANSYS, Inc. в основному застосовуються програми ANSYS CFX та ANSYS Fluent. Обидві програми використовують скінченно-елементні методи.

CFX використовує гібридний підхід до дискретизації: скінченно-елементний метод та метод контрольних об'ємів. Як і метод контрольних об'ємів, він забезпечує консервативність обчислювальних схем та виконання законів збереження. Метод скінченних елементів використовується для опису зміни розв'язку в кожному елементі. Хоча даний метод є обчислювально затратним, оскільки має кубічну обчислювальну складність для одного кроку по часу для тривимірних задач. Для усіх типів та режимів течій використовується один вирішувач. Вирішувач багатосітковий: використовується послідовність сіток, які грубшають, для поширення розв'язку на всю область. Сітка може бути динамічною та адаптивною в задачах з рухомими границями. Вирішувач є неявно спряженим – вирішує повну систему гідродинамічних рівнянь одночасно на всіх вузлах.

Різниця між вирішувачами програм CFX та Fluent полягає у тому, що в CFX об'єми центруються по вузлах сітки, а у Fluent – об'єми збігаються з сіткою. Обидві програмні системи призначені для розв'язування як двовимірних, так і тривимірних задач, з можливістю розпаралелення обчислень. Існують також готові рішення для хмарних обчислень.

Для задач з вільною границею та багатофазних потоків в пакетах ANSYS застосовується метод об'єму рідини (Volume of Fluid Method, VOF) в рамках підходу Ейлера. Для моделювання диспергованих середовищ – метод дискретної фази (Discrete Phase Model, DPM) в рамках підходу Лагранжа. Для задач шару, що кипить, використовується метод дискретних елементів (Discrete Element Method, DEM). Останні два методи моделюють рух окремо взятих частинок.

Фізична модель, що застосовується у програмах CFX та Fluent, наступна: для усіх типів течій розв'язуються рівняння збереження маси та імпульсу. Для стисливих течій або задач теплопереносу додається рівняння збереження енергії.

Ось деякі із можливих застосувань продуктів компанії ANSYS, Inc. для задач гідродинаміки:

1. стисливі та нестисливі течії;
2. течії з рухомою границею;
3. течії з вільною границею;
4. взаємодія з твердими тілами, занурені тіла;
5. пористі середовища;
6. турбулентність;
7. кавітація;
8. акустика;
9. теплообмін;
10. турбіни, машини, що обертаються;
11. багатофазні течії, кипіння;
12. течії, які хімічно реагують між собою, та згоряння.

У пакеті ANSYS є можливість розв'язування задач, в яких моделюється одразу декілька пов'язаних між собою фізичних процесів, – задач мультифізики. У пакеті існує додаток ANSYS Workbench, у графічному інтерфейсі якого за допомогою перетягування елементів мишею (drag-and-drop) дослідник створює схему розв'язування задачі, задає зв'язки між вирішувачами з різних областей фізики.

Приклад задачі такого типу – задача обтікання з рухомими границями, або взаємодії рідини з твердими тілами (fluid-structure interaction, FSI). На рисунку 2 представлено приклад схеми проекту, побудованої у додатку Workbench з пакету ANSYS для розв'язування задачі взаємодії течії рідини з рухомою границею, взятий з технічного звіту про моделювання штучного клапану серця [4].

Як видно з рисунку 2, різні додатки з пакету – Fluent та Transient Structural (додаток для розрахунку динамічних навантажень конструкцій) – використовують для розрахунків одну спільну геометрію (фізичні границі об'єктів, на рисунку – компоненти Geometry). Компоненти додатків, призначені для задання початкових та граничних умов (на рисунку – компоненти Setup), є пов'язаними через спеціальний додаток – System Coupling. Завдяки останньому поле тиску, отримане за допомогою додатка Fluent, використовується як навантаження для розрахунку напружено-деформованого стану клапану у додатку Transient Structural. В ANSYS є також можливість зробити такий зв'язок двонаправленим – розраховану за навантаженнями деформацію використати у додатку Fluent як зміну положення границь в задачі обтікання.

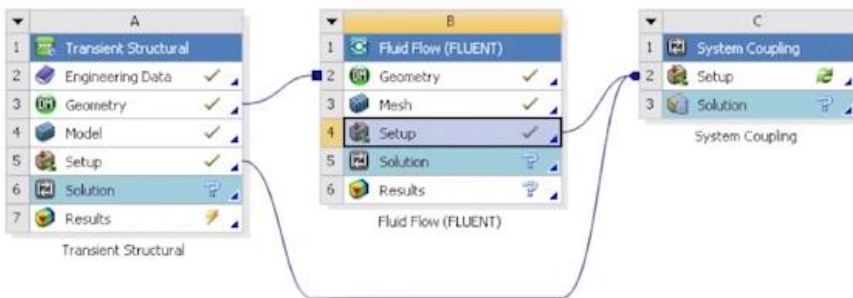


Рисунок 2 – Схема розв'язування задачі взаємодії рідини з рухомою границею у ANSYS Workbench [4]. Зображення надано ANSYS, Inc

На рисунку 3 в загальному вигляді представлено послідовність підготовки даних для реалізації процедур обчислення для розв'язування задач гідродинаміки у програмному пакеті ANSYS. Штрихпунктирними лініями на рисунку 3 позначено зв'язки, які мають місце тоді, коли за допомогою декількох спряжених вирішувачів з різних областей фізики розв'язуються задачі мультифізики.

Скінченно-елементні методи є універсальними та потужними, але мають свої особливості практичного застосування. ПЗ, побудоване з використанням таких методів, вимагає наявності у його користувача досвіду застосування методу скінченних елементів. Зокрема, це стосується етапу побудови сітки.





Рисунок 3 – Загальна схема процесу проведення обчислень у пакеті ANSYS

На рисунку 4 наведені поля швидкостей для класичної двовимірної задачі обтікання циліндру. Спочатку течія поза циліндром була обчислена з використанням на віддаленні від циліндру стандартної сітки заданого розміру (рис. 4.а), яку початково за замовчуванням в автоматичному режимі побудував додаток Meshing (додаток у пакеті ANSYS, що відповідає за побудову сітки). Після чого, шляхом ручної зміни налаштувань у додатку Meshing на віддаленні від циліндру сітка була побудована мілкіша (рис. 4.б).

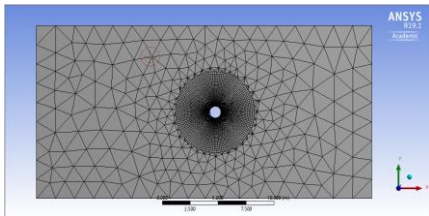


Рисунок 4 а)

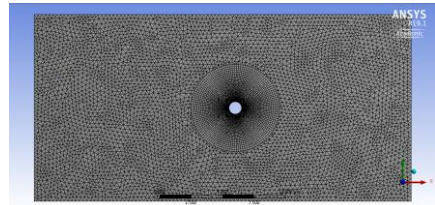


Рисунок 4 б)

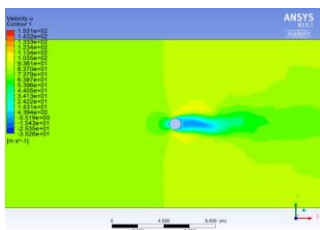


Рисунок 4 в)

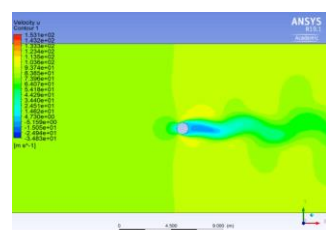


Рисунок 4 г)

Рисунок 4 – Розв'язування двовимірної задачі обтікання циліндру у ANSYS Academic: а) груба сітка на віддаленні від циліндра, побудована автоматично; б) більш мілка сітка на віддаленні від циліндра, побудована шляхом зміни налаштувань додатка Meshing; в) поле швидкостей, обчислене за такою сіткою; г) поле швидкостей, обчислене за допомогою мілкішої сітки. Зображення надано ANSYS, Inc.

Задача чисельно розв'язувалася у версії пакету ANSYS Academic 19.1, у додатку Fluent. ANSYS Academic – це обмежена версія оригінального комерційного пакету ANSYS, яка є безкоштовною [5]. Вона призначена до застосування студентами, науковцями, дослідниками.

При порівнянні результатів (рис. 4.в та 4.г) видно, наскільки якісно схожі обидві картини обтікання в околі циліндру, де спеціально в ручному режимі шляхом задання спеціальних налаштувань була побудована мінка сітка в ближньому околі циліндра, однакова в обох випадках (рис. 4.а та 4.б). Але на віддаленні від циліндру картина відрізняється і на рисунку 4.в видно, що більш груба сітка не здатна “влловити” так звану вихрову доріжку Кармана, яку можна побачити на рисунку 4.г.

Для організації та автоматизації розрахунків в ANSYS є додаток ACT – набір інструментів для автоматизації розрахунків, розширення стандартного функціоналу пакету та приєднання сторонніх додатків для розрахунків. В ACT можна створювати свої додатки на базі пакету ANSYS з використанням мови розмітки XML та мови програмування IronPython. Ця технологія дозволяє створювати додатки зі вже налаштованими розрахунками для конкретних задач. Це у свою чергу веде до зниження вимог у предметній області до користувача системи. Користувачу у такому випадку не потрібно мати ґрунтовні знання гідродинаміки та чисельних методів для проведення розрахунків, якщо під його конкретну задачу вже було налаштовано процес розв'язування. У такому випадку користувач буде лише змінювати параметри та запускати процес обчислень, після чого – отримувати готові звіти, які також можливо попередньо налаштувати за допомогою ACT.

**ANSYS** – потужний комерційний промисловий пакет програм із зручним графічним інтерфейсом. Він покриває широкий спектр задач гідродинаміки та здатний проводити розрахунки спряжених задач з різних областей фізики. Але пакет має такі недоліки: вартість ліцензії і суттєві вимоги до знань та досвіду з предметної області у користувача системи. Для проведення надійних розрахунків користувачу пакету необхідно мати досвід застосування методу скінченних елементів – це було проілюстровано на прикладі розв'язування двовимірної задачі обтікання циліндру (рис. 4). Для користувача необхідними є ґрунтовні знання в галузі гідродинаміки для коректної постановки задачі (вибору моделі течії, граничних умов) та чисельних методів (для обрання алгоритму і схеми розрахунку). Пакет працює в ОС Windows.

### **OpenFOAM**

Серед пакетів ПЗ для задач обчислювальної гідродинаміки існує OpenFOAM (англ. абр. Open Source Field Operation And Manipulation) – платформа, або бібліотека з відкритим кодом на мові програмування C++, призначена для розв'язування задач механіки суцільних середовищ [6, 7] методом скінченних елементів. Бібліотека орієнтована на операційні системи з сімейства Unix (в т.ч. Linux), розробляється з 2004 року. Зараз її розробляють паралельно дві англійські компанії OpenCFD Limited [7] та OpenFOAM Foundation Limited [6]. OpenFOAM є достатньо відомою та поширеною бібліотекою в академічній спільноті. На відміну від дорогих пакетів промислового призначення, ліцензія OpenFOAM є безкоштовною.

Платформа базово не має графічного інтерфейсу. Дослідник описує задачу в текстовому файлі у визначеному форматі. Для виконання обчислень необхідно підготувати каталог з файлами певної структури, які будуть містити сітку розрахункової області, опис параметрів задачі, фізичні властивості досліджуваної системи, початкові та крайові умови. Процес обчислень запускається з командного рядка операційної системи.

До складу програмного забезпечення OpenFOAM входять вирішувачі та утиліти. Вирішувачі – це програми, які виконують безпосередньо сам процес обчислення чисельного розв'язку за підготовленим описом задачі. Утиліти – це програми для перед- та пост-обробки даних. Приклад утиліти – утиліта конвертація файлу із сіткою, побудованою у сторонній програмі, у формат, з яким працює OpenFOAM. Маючи необхідні знання з програмування, комп'ютерних алгоритмів, математичних моделей та чисельних методів, дослідник може сам створювати нові вирішувачі та утиліти для розширення стандартного функціоналу бібліотеки. Завдяки цьому існує спільнота людей, які викладають свої доробки та розширення бібліотеки у вільний доступ з відкритим кодом. Приклад таких доробок спільноти – проект foam-extend [8].

Для побудови сітки для обчислень в OpenFOAM можуть бути використаними як програми з бібліотеки, що запускаються з командного рядка, так і сторонні програми з подальшою конвертацією у формат, який підтримує OpenFOAM. Деякі з таких сторонніх програм мають графічний інтерфейс, наприклад Gmsh [9].

В OpenFOAM відсутній універсальний вирішувач, який покривав би усі випадки – користувач повинен сам обрати вирішувач відповідно до класу задачі, яку потрібно розв'язати. Вирішувачі відрізняються між собою за алгоритмом обчислень або за фізичною моделлю, яку вони реалізують. Кожен вирішувач – це самостійна програма, яка запускається з командного рядка. Ряд вирішувачів підтримує динамічну адаптивну сітку. Бібліотека підтримує паралельні обчислення з використанням бібліотеки Open MPI. Існують хмарні рішення для швидких розрахунків задач великої розмірності. Аналогічно вибору вирішувача, дослідник самостійно обирає початкові та крайові умови, яких, наприклад, у версії бібліотеки від компанії OpenCFD більше 70 різних типів.

За списком доступних вирішувачів OpenFOAM можна скласти наступний список задач гідродинаміки, які покриває бібліотека:

1. нестисливі течії: ламінарні ньютонівської та неньютонівської рідини, турбулентні, модель мілкої води;
2. стисливі течії: ламінарні і турбулентні, трансзвукові, надзвукові;
3. багатофазні течії та течії з вільною границею;
4. відслідковування окремих частинок (підхід Лагранжа);
5. течії, що реагують між собою, та згоряння;
6. течії, що обертаються (з багатьма системами відліку);
7. пористі середовища;
8. кавітація;
9. теплоперенос.

Окрім гідродинаміки, в бібліотеці також є вирішувачі для задач напружено-деформованого стану твердого тіла, електромагнетизму та навіть модель Блека-Шоулза з економіки.

Для перегляду та пост-обробки результатів обчислень використовується безкоштовне графічне середовище ParaView.

На рисунку 5 представлено послідовність підготовки даних для реалізації процедур обчислення розв'язку задач гідродинаміки за допомогою платформи OpenFOAM для різних можливих варіантів задання умови задачі.

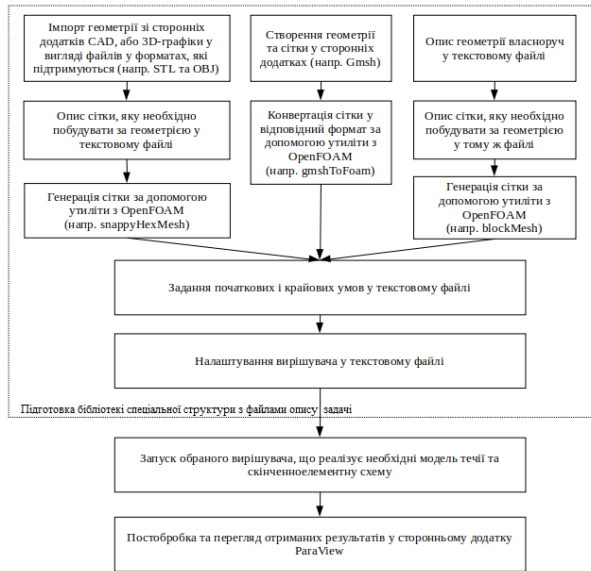


Рисунок 5 – Загальна схема процесу проведення обчислень із застосуванням платформи OpenFOAM

OpenFOAM – потужний інструмент для обчислень у галузі гідродинаміки. Але він має суттєві вимоги з предметної області до користувача системи. Користувач бібліотеки, окрім структури та функціонування самої бібліотеки, повинен мати впевнені знання в області гідродинаміки (для правильного обрання вирішувача та граничних умов) та досвід використання методу скінченних елементів (для правильної побудови сітки). Також він має бути досвідченим користувачем ОС Linux, що важливо – з командного рядка. Для більш складних випадків, коли задачу неможливо розв'язати за допомогою стандартних вирішувачів або граничних умов з бібліотеки, досліднику необхідно мати знання та досвід програмування на мові C++ для розширення стандартного функціоналу бібліотеки для розв'язування своєї задачі.

### Інші скінченно-елементні програмні системи

Існує багато інших пакетів для розрахунків методом скінченних елементів: як комерційних, так і безкоштовних з відкритим кодом. В даній статті докладно розглянуто по одному з кращих представників комерційного та безкоштовного ПЗ з відкритим кодом: пакет компанії ANSYS, Inc. та бібліотеку OpenFOAM, відповідно. Під час підготовки огляду, окрім цих пакетів, були також розглянуті інші. Вони мають деякі відмінності, але в загальному повторюють принципи та функціонал двох розглянутих вище пакетів.

Один з лідерів промислової галузі обчислювальної гідродинаміки після ANSYS [2, 10] – STAR-CCM+ [11] (розробляється з 2004 р., зараз належить Siemens PLM Software) – за своїми описами повторює багато функціоналу з ANSYS, також приділяючи багато уваги мультифізичним розрахункам. Пакет працює в ОС Windows та Linux, підтримує паралельні та хмарні розрахунки.

Інший продукт від Siemens PLM Software – Femap [12] (розробляється з 1985 р.). Він виконує роль пре- та постпроцесору, як прошарок між САПР та скінченно-елементними вирішувачами. Але має також власний вирішувач для задач обчислювальної гідродинаміки – Femap Flow Solver, який повторює багато функціоналу для суто гідродинамічних задач. Із задач мультифізики вирішує лише задачі теплопереносу. Паке́т працює в ОС Windows.

ADINA [13] (з 1974 р., США) – ще один комерційний паке́т ПЗ даної галузі. Має вже дещо застарілі графічний інтерфейс та візуалізацію результатів. З можливостей, яких немає в ANSYS, у паке́ті реалізована підтримка густини рідини, залежної від тиску або від часу. Паке́т також розв'язує задачі мультифізики на рівні ANSYS, підтримує імпортування з сторонніх САПР. Паке́т працює в ОС Windows та Linux, підтримує паралельні обчислення.

Ще один виробник комерційних паке́тів – MSC Software [14] (США), який також розробляє оригінальну версію широко відомого паке́ту Nastran для розрахунків напружено-деформованого стану тіла. Серед продуктів цього виробника є ряд паке́тів для задач обчислювальної гідродинаміки [15]: SC/Tetra, scFLOW, scSTREAM, HeatDesigner та ін. Вони розв'язують широкий спектр промислових задач гідродинаміки, а також деякі задачі мультифізики (взаємодії рідини з твердими тілами, теплоперенос). У паке́ті є можливість робити повну автоматизацію процесів інженерних розрахунків з використанням мов Visual Basic, Python та інших. У паке́ті реалізовано автоматичне адаптивне уточнення сітки в зонах великих градієнтів та складної геометрії. Паке́т працює в ОС Linux та Windows, має підтримку паралельних та хмарних обчислень.

COMSOL Multiphysics [16] – паке́т від компанії COMSOL (засн. у 1986 р. у Швеції). Як і у паке́тах від компаній-лідерів галузі, чимало уваги в даному паке́ті приділено мультифізичним задачам (в т.ч. задачам взаємодії рідин та твердих тіл, теплопереносу, течій, що реагують, згоряння, спряженим задачам акустики та електромагнетизму). Паке́т підтримує паралельні та хмарні обчислення. Одна з особливостей паке́ту – застосування методу граничних елементів у задачах корозії, електроосадження, електростатики та акустики. Цей метод має такі особливості, як робота у нескінченній області розрахунку та легкість розрахунку поля в будь-якій точці області. Ці та інші особливості методу мотивували розробників застосувати його в паке́ті як у поєднанні з методом скінченних елементів, так і окремо самостійно.

Ще один безкоштовний паке́т для задач обчислювальної гідродинаміки – SU2 [17], створений у Стенфордському університеті. Але він не має суттєвих переваг перед бібліотекою OpenFOAM за своїми можливостями.

Враховуючи перевагу скінченно-елементного ПЗ на ринку комерційного ПЗ [2] та в академічному середовищі (OpenFOAM), сучасні тенденції розвитку ПЗ для обчислювальної гідродинаміки є сенс відстежувати саме за такими паке́тами програм.

## **2. Паке́ти, що застосовують метод ґраткових рівнянь Больцмана**

Окрім методу скінченних елементів, для розв'язування задач обчислювальної гідродинаміки застосовується метод ґраткових рівнянь Больцмана (Lattice Boltzmann method, LBM). На відміну від звичайних сіткових методів, в яких розв'язується рівняння Нав'є-Стокса, у даному методі використовується кінетичне

рівняння Больцмана в рамках підходу Лагранжа. Метод має такі переваги над сітковими методами, як, наприклад, відсутність трудомісткого процесу задання конфігурації сітки для досягнення необхідної точності (рівномірна сітка створюється повністю автоматично), здатність розв'язувати задачі для великих значень числа Кнудсена, фізики плазми та ін. Але метод має обмеження, серед яких – складності у його застосуванні для великих числах Рейнольдса або у задачах великої розмірності. Нижче буде описано найвідоміші моделюючі системи (**PowerFLOW** та **XFlow**), які застосовують даний метод.

Однією з компаній, що займається розвитком застосування методу ґраткових рівнянь Больцмана для промислового застосування у комерційних пакетах, є компанія Dassault Systèmes (заснована у 1981 р., Франція). Відомо також, що ця компанія співпрацює з НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського – САІР САІА виробництва Dassault Systèmes впроваджено у навчальний процес на кафедрі динаміки і міцності машин та опору матеріалів Механіко-машинобудівного інституту [18, 19]. Для задач гідродинаміки серед власних продуктів компанія має скінченно-елементні модулі SolidWorks Flow Simulation [20] (досить популярний в індустрії [2]), а також Abaqus/CFD [21]. У пакеті програм SIMULIA даного виробника є два продукти, які реалізують метод ґраткових рівнянь Больцмана: PowerFLOW [22] (продукт приєднаної у 2017 р. компанії Eca Corporation) та XFlow [23] (підрозділ цього продукту було придбано у 2016 р. у компанії Next Limit Technologies).

Програма XFlow має інноваційний графічний інтерфейс, подібний до інтерфейсу анімаційного ПЗ [24]. Вона підтримує паралельні та хмарні розрахунки. Пакет працює в ОС Windows та Linux. Можливості програми XFlow в задачах гідродинаміки:

1. стисливі та вимушено нестисливі течії;
2. внутрішні та зовнішні задачі;
3. течії з вільною границею;
4. мультифазні течії;
5. задачі теплопереносу;
6. взаємодія течій з твердими тілами, плавучість;
7. моделі надзвукових течій;
8. турбулентні течії;
9. задачі акустики;
10. моделі неньютонівської в'язкості.

Програмна система PowerFlow, за своїм функціоналом, має обмежені можливості у порівнянні з XFlow.

Бібліотека з відкритим кодом **Palabos** [25] – продукт партнерства Женевського університету та компанії FlowKit Ltd. В рамках партнерства Женевський університет займається науковими дослідженнями для розвитку бібліотеки, а компанія FlowKit Ltd. – її підтримкою та розробкою. Бібліотека розробляється з 2009 р. як відгалуження від бібліотеки OpenLB. Бібліотека OpenLB розробляється з 2005 р., досі існує та підтримується [26], але є менш відомою, ніж Palabos.

Бібліотека Palabos пропонує програмний інтерфейс на мові C++. Для її застосування обов'язково потрібні навички програмування. Також передбачається, що користувач має достатні знання в області обчислювальної гідродинаміки. Бібліотека майже не має сторонніх залежностей, тому легко розгортається у багатьох ОС та платформах. Бібліотека має програмні інтерфейси на мовах Java

та Python. Бібліотека підтримує паралельні обчислення з використанням програмного інтерфейсу MPI.

Для проведення розрахунків геометрія області, в якій розв'язується задача, та її границь задається “вручну” в програмному коді обчислень або імпортується з STL-файлу. В бібліотеці можливе виведення результатів у текстові та бінарні файли, файли зображень, або VTK-файли, які можливо переглядати у безкоштовному середовищі ParaView (аналогічно до бібліотеки OpenFOAM).

Можливості бібліотеки для задач гідродинаміки:

1. нестисливі та слабко стисливі течії;
2. течії з вільною границею;
3. неньютонівська в'язкість;
4. турбулентність;
5. теплоперенос;
6. пористі середовища;
7. багатофазні течії.

Як видно з огляду, програмне забезпечення, що використовує даний метод, покриває менший функціонал, ніж скінченно-елементне ПЗ. Але воно розв'язує деякі з задач, які неможливо розв'язати шляхом чисельного розв'язування рівнянь Нав'є-Стокса, наприклад, течії малих масштабів та випадки, коли не виконується гіпотеза неперервності (для великих значень числа Кнудсена).

### 3. Програмні системи із застосуванням методу граничних елементів

До задач обчислювальної гідродинаміки також може бути застосованим метод граничних елементів (boundary element method, BEM). Метод особливий тим, що є безсітковим та приводить до менших за розміром СІАР. Метод добре працює з нескінченними областями та дозволяє легко порахувати значення поля в будь-якій точці області.

**Linflow** [27] – ПЗ для задач гідродинаміки, яке розроблялося у Швеції компанією ANKER-ZEMER Engineering AB з 1999 р. (вийшла версія 1) по 2004 р. (вийшла остання відома версія – 1.4). Пакет використовує метод граничних елементів для дискретизації потенціалу швидкості. Вирішувач пакету додатково генерує вихрові елементи (напр., на задній частині крила) для того, щоб задовольнялася умова Чаплигіна-Жуковського [28].

У пакеті можна розв'язувати такі задачі гідродинаміки: задачі обтікання, аеропружності, аероакустики, взаємодії рідин та твердих тіл. У пакеті розглядається безвихрова течія нев'язкої рідини. Вона може бути як стисливою, так і нестисливою. ПЗ передбачалося застосовувати як додатковий модуль до пакету ANSYS (остання підтримувана версія ANSYS – 8.1) або разом з пре- та постпроцесором Femap, про які написано вище.

**3DynaFS-Bem** [29] – модуль пакету 3DynaFS компанії Dynaflow, Inc. для дослідження течій з вільною границею та їх взаємодії із зануреними або плаваючими твердими тілами. Пакет орієнтований на вирішення наступних задач гідродинаміки: кавітація, взаємодія, деформація та вибух бульбашок, гідроакустика, хвилі, ефекти мілкої води, взаємодія течії з твердими тілами, плавучість. Пакет розроблявся для потреб кораблебудування та здатний досліджувати багато гідродинамічних ефектів, що знаходять свій прояв у практичних аспектах цієї галузі машинобудування. Пакет програм може бути застосованим в ОС Windows і Linux.

Перелічені вище особливості методу граничних елементів дозволяють створювати ПЗ, що працюватиме швидше за скінченно-елементне ПЗ, оскільки метод є чисельно-аналітичним та понижує розмірність задачі. Таке ПЗ можливо максимально автоматизувати та знизити вимоги до кваліфікації користувача, тому що метод є безсітковим і не вимагає складного етапу створення сітки, як у випадку методу скінченних елементів. Одним з найбільш ефективних реалізацій МГЕ [32] є метод дискретних особливостей (МДО). Основні ідеї та положення підходу, строго сформульовані [33, 34], базуються на дискретизації вихрового шару.

**Метод дискретних особливостей (МДО)** – це метод, що входить до групи методу граничних елементів [32] та є у ній одним з найбільш ефективних [33-35]. Можна виділити наступні особливості МДО [33]:

- метод добре зрозумілий інженерам;
- є фактично безсітковим;
- добре формалізується;
- може застосовуватися як метод експрес-аналізу;
- є ефективним для задач із суттєво рухомими границями.

Завдяки тому, що для точного розрахунку метод не потребує від користувача задання конфігурації сітки, його застосування не вимагає досвіду та вміння це робити, на відміну від методу скінченних елементів (МСЕ). В задачах із суттєво рухомими границями метод також має перевагу завдяки тому, що він не потребує додаткового етапу складних обчислень для перебудови сітки, що має місце у випадку застосування МСЕ, коли необхідно застосовувати динамічну адаптивну сітку.

Чисельно-аналітичний МДО у порівнянні з МСЕ потребує розв'язування СЛАР менших розмірів, оскільки понижує розмірність задачі. В результаті метод є швидшим за МСЕ та може працювати у режимі реального часу. Це є великою перевагою для користувачів, оскільки дає можливість отримувати результати швидко та спостерігати за процесом, що моделюється. Завдяки цьому кожна з ітерацій дослідження, коли користувач змінює параметри та перевіряє результати моделювання, виконується швидше.

Найбільш відомі розробки, що побудовані на вихрових технологіях, це інтегрований «Комплекс програм для досліджень на ПОМ аеропружних характеристик парашутів» [33] та програмні системи Aeroflow і Mill (Росія, І.К. Ліфанов та А.В. Сетуха, 2006). Базуються вони на методі дискретних особливостей (МДО). Обидві розробки використовуються як програмно-моделюючі системи для еколого-аераційної експертизи масивів житлової забудови й промислових зон. Aeroflow й Mill дозволяють визначити: аерогідродинамічні навантаження на конструкції та споруди з різнотипними границями; застосовуються у системах прогнозуючих еволюцію екологічних процесів. В межах цього ж підходу створено програми Autowing, CATRAN та Wind Expert (Росія, Санкт-Петербург). Програмні системи схожі між собою, але мають обмежене поширення і, на жаль, слабо підтримуються. Базовий функціонал програм також побудований на методі дискретних вихорів, який дозволяє працювати з довільною просторовою геометрією об'єктів, а також враховувати нелінійну вихрову завісу, екран, струмені, плинні й багато інших особливостей обтікання. Програми дозволяють моделювати схід вихрового потоку із всіх відривних зон, вивчати далекий вихровий слід і пов'язані з ним когерентні структури.



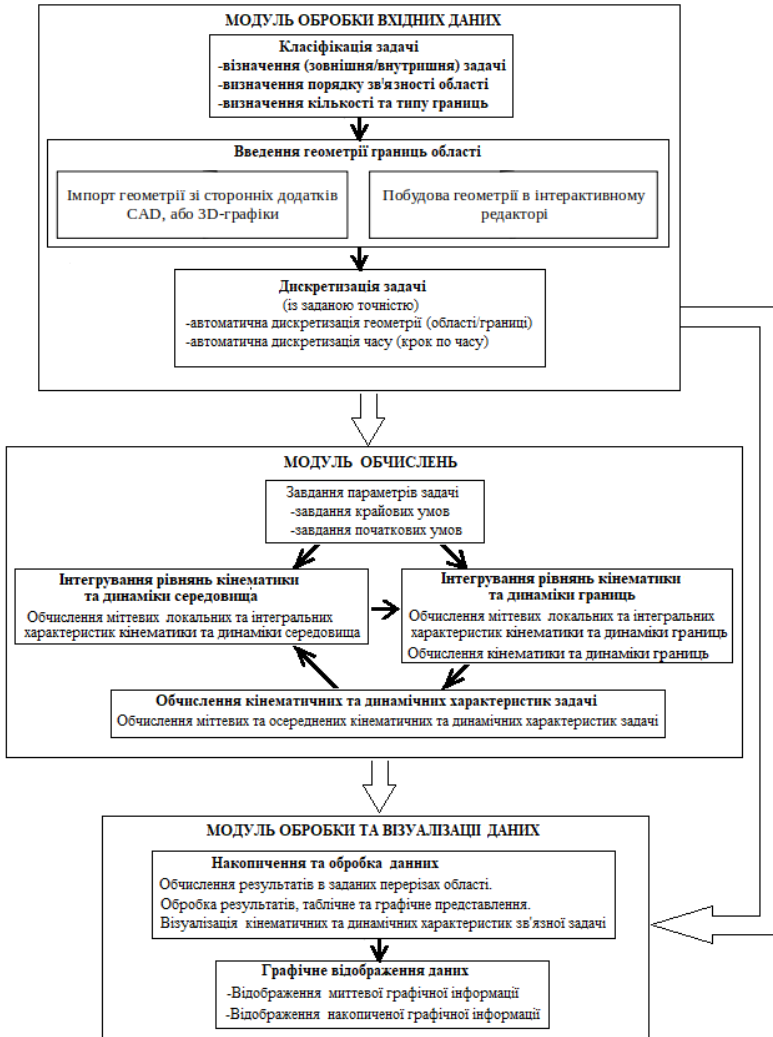


Рисунок 6 – Схема процесу проведення обчислень у програмно-моделюючій системі (яка базується на методі дискретних особливостей)

Метод дискретних особливостей надає можливість повністю автоматизувати процес обчислень та всі етапи обробки даних. Користувачу моделюючої системи необхідно лише задати фізичні границі об'єктів та області, початкові та крайові умови, а також обрати представлення кінцевих результатів та критерій зупинки процесу моделювання. Слід зауважити, що останнім часом все більше уваги приділяється створенню спеціалізованих програмно-моделюючих систем (схему функціонування яких представлено на рисунку 6), які призначені для визначення та прогнозування впливів для обмеженого кола спеціальних задач. Завдяки тому, що метод дискретних особливостей не є сітковим, процес дискретизації визначених границь, проведення обчислень, функціонування програмно-моделюючої системи можливо повністю автоматизувати (виключити вплив людського фактору) та забезпечити спостереження процесу моделювання, який виконується у масштабі реального часу (що є суттєвим для систем з керуванням).

#### 4. Тенденції розвитку програмно-моделюючих систем у галузі обчислювальної гідродинаміки

У ході огляду сучасних програмних пакетів лідерів ринку комерційного ПЗ галузі стає зрозуміло, що розробники спеціального ПЗ приділяють велику увагу мультифізичним розрахункам, інтеграції ПЗ для моделювання з інженерними САПР, зручності користувацького інтерфейсу, автоматизації розрахунків. Це зумовлено потребами кінцевих споживачів цих програмних продуктів та конкуренцією на ринку. Схожі тенденції виділяються в огляді розвитку ПЗ галузі [24], де стверджується, що із складної технології обчислень акцент змістився у бік розв'язування інженерних промислових задач. Автор огляду стверджує, що подальший розвиток даного ПЗ буде відбуватися у таких напрямках:

- мультифізичні розрахунки;
- створення єдиного загального вирішувача для усіх областей фізики, що працюватиме в автоматичному режимі;
- покращення користувацького інтерфейсу.

З вищесказаним узгоджується спостереження, яке можна зробити за допомогою відкритого онлайн-сервісу Google Trends: зменшується інтерес до традиційного методу галузі – методу скінченних елементів. На рисунку 6 зображено віднормований графік інтересу користувачів пошукової системи Google за часом до таких тем, як метод скінченних елементів, метод ґраткових рівнянь Больцмана та метод граничних елементів. З графіку видно, що інтерес до методу скінченних елементів спадає у пошуковій системі Google. Видно і те, наскільки відрізняється популярність цього методу від двох інших, що зображені на графіку і також розглядаються в рамках даної статті.

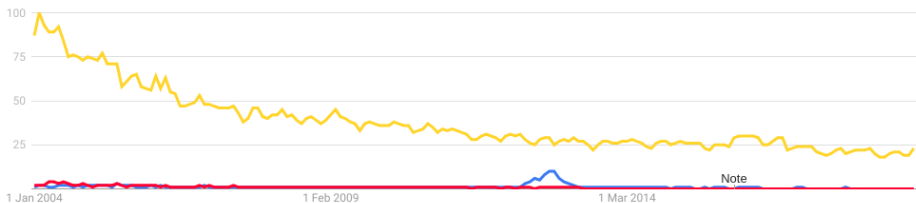


Рисунок 7 – Графік інтересу за часом у пошуковій системі Google до таких тем, як метод скінченних елементів (жовтий), метод ґраткових рівнянь Больцмана (синій) та метод граничних елементів (червоний) [30]

Масштаб графіку на рисунку 7, який віднормовано по точці найвищого інтересу до методу скінченних елементів, не дозволяє якісно порівняти попит у пошуковій системі Google на метод ґраткових рівнянь Больцмана та метод граничних елементів. На рисунку 8 наведено такий самий графік, але лише для цих двох методів.

З рисунка 8 видно, що останні 10 років метод ґраткових рівнянь Больцмана є більш популярним у пошуках користувачів Google, ніж метод граничних елементів, хоча на початку 2000-х років ситуація була протилежною. Також на графіку видно стрімкий сплеск популярності методу ґраткових рівнянь

Больцмана, пік якого прийшовся на грудень 2012 року. Як і у випадку з методом скінченних елементів (рис. 7), інтерес до двох даних методів також спадає.



Рисунок 8 – Графік інтересу за часом у пошуковій системі Google до таких тем, як метод ґраткових рівнянь Больцмана (синій) та метод граничних елементів (червоний) [31]

Зміна інтересів до різних підходів та методів визначає, що існує потреба в розробці обчислювальних технологій [33] для моделюючих систем, здатних забезпечувати автоматичну обробку даних, моделювання еволюційних аеро/гідродинамічних процесів та визначення впливів в автоматичному режимі, без втручання людини в роботу системи.

## Висновки

Враховуючи сучасні тенденції розвитку програмно-моделюючих систем у галузі обчислювальної гідродинаміки, доцільно відзначити наступне:

- основний недолік більшості загальновідомих програмно-моделюючих систем полягає в обов'язковому залученні до роботи із моделюючою системою висококваліфікованого фахівця з предметної галузі та з методів обчислень для забезпечення обробки даних та супроводження системи;
- незважаючи на потужність та широкі можливості існуючих систем, існує потреба у створенні вузькоспеціалізованих програмно-моделюючих систем, здатних забезпечити прогнозування еволюції довготривалих багатоетапних процесів;
- перспективним напрямком в теорії обчислень є створення комплексних методів та обчислювальних технологій для розв'язання великих задач та прямого комп'ютерного моделювання складних систем і багатоетапних процесів;
- створення нових моделюючих систем повинно базуватися на комплексних, взаємопов'язаних математичних моделях та обчислювальних технологіях, здатних забезпечити прогнозування та відображення всього процесу в реальному часі;
- програмно-моделюючі системи повинні мати можливість функціонування в автоматичному режимі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бетяев С. К. Гидродинамика: проблемы и парадоксы / С. К. Бетяев // Успехи физических наук. – 1995. – Т.165, №3. – С. 299-330.
2. Keith Hanna CFD Breaks the \$Billion Barrier! // Mentor Blogs Дата оновлення: 26.03.2015. URL: <https://blogs.mentor.com/khanna/blog/2015/03/26/cfd-breaks-the-billion-barrier/> (дата звернення: 01.09.2018)

3. Сайт компанії ANSYS. URL: <https://www.ansys.com/> (дата звернення: 01.09.2018)
4. Tameirão Sampaio Rodrigues, Laura & Coelho e Silva, Lucas & Costa Machado, Lucas & Greco, Marcelo & Leo Gélape, Cláudio. (2016). Simulations of Artificial Biological Heart Valves with ANSYS <http://volitans.wix.com/esschallenge>. 10.13140/RG.2.1.3146.7925.
5. ANSYS Academic // Сайт компанії ANSYS. URL: <https://www.ansys.com/academic> (дата звернення: 11.01.2019)
6. Сайт версії пакету OpenFOAM, що розробляється компанією OpenFOAM Foundation. URL: <https://openfoam.org/> (дата звернення: 01.09.2018)
7. Сайт версії пакету OpenFOAM, що розробляється компанією OpenCFD. URL: <https://www.openfoam.com/> (дата звернення: 01.09.2018)
8. foam-extend Open Source CFD Toolbox // Сайт хостингу Open Source проєктів SourceForge. URL: <https://sourceforge.net/projects/foam-extend/> (дата звернення: 14.03.2019)
9. Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities // Сайт генератора сітки Gmsh. URL: <http://gmsh.info/> (дата звернення: 08.04.2019)
10. A Comparison of CFD Software Packages // Сайт компанії Resolved Analytics. URL: <https://www.resolvedanalytics.com/theflux/comparing-popular-cfd-software-packages> (дата звернення: 01.09.2018)
11. STAR-CCM+ // Сайт компанії Siemens PLM Software. URL: <https://mdx.plm.automation.siemens.com/star-ccm-plus> (дата звернення: 01.09.2018)
12. Femap // Сайт компанії Siemens PLM Software. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/femap/> (дата звернення: 01.09.2018)
13. Сайт пакету ADINA. URL: <http://www.adina.com/> (дата звернення: 01.09.2018)
14. Сайт компанії MSC Software. URL: <http://www.mscsoftware.com/> (дата звернення: 01.09.2018)
15. Computational Fluid Dynamics // Сайт компанії MSC Software. URL: <http://www.mscsoftware.com/application/computational-fluid-dynamics> (дата звернення: 01.09.2018)
16. Understand, Predict, and Optimize Engineering Designs with the COMSOL Multiphysics® Software // Сайт компанії COMSOL. URL: <https://www.comsol.com/comsol-multiphysics> (дата звернення: 01.09.2018)
17. SU2, the Open-Source CFD Code // Сайт проєкту SU2. URL: <https://su2code.github.io/> (дата звернення: 19.03.2019)
18. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” // Сайт компанії Dassault Systèmes. URL: <https://www.3ds.com/customer-stories/single/university-of-ukraine/> (дата звернення: 12.01.2019)
19. Использование информационных систем и технологий CATIA в учебном процессе НТУУ «КПИ» // Сайт кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського. URL: <http://mmi-dmm.kpi.ua/index.php/ua/newsletter/178-ispolzovanie-informatsionnykh-sistem-i-tehnologij-catia-v-uchebnom-protssesse-ntuu-kpi.html> (дата звернення: 12.01.2019)
20. SOLIDWORKS Flow Simulation // Сайт пакету SOLIDWORKS. URL: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-flow-simulation> (дата звернення: 01.09.2018)
21. Abaqus/CFD // Сайт компанії Dassault Systèmes. URL: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/multiphysics/abaquscf/> (дата звернення: 01.09.2018)
22. SIMULIA PowerFLOW // Сайт компанії Exa Corporation. URL: <https://exa.com/en/product/simulation-tools/powerflow-cfd-simulation> (дата звернення: 01.09.2018)
23. XFLOW // Сайт компанії Dassault Systèmes. URL: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/xflow/> (дата звернення: 01.09.2018)
24. Dr. Ivo Weinhold, Dr. John Parry The Third Wave of CFD // Сайт корпорації Mentor Graphics. URL: <http://go.mentor.com/4gvfp> (дата звернення: 24.02.2019)
25. Сайт бібліотеки Palabos. URL: <http://www.palabos.org/> (дата звернення: 01.09.2018)
26. Сайт бібліотеки OpenLB. URL: <https://www.openlb.net/> (дата звернення: 25.01.2019)

27. Сайт компанії ANKER-ZEMER Engineering AB. URL: <http://www.anker-zemer.com/> (дата звернення: 01.09.2018)
28. LINFLOW APPLICATIONS // Документ в інтернет-архіві Wayback Machine. URL: [https://web.archive.org/web/20161106013336/http://linflow.us/LF13\\_APPL061.pdf](https://web.archive.org/web/20161106013336/http://linflow.us/LF13_APPL061.pdf) (дата звернення: 08.04.2019)
29. 3ДинаFS-BEM // Сайт компанії Dynaflow, Inc. URL: [http://www.dynaflow-inc.com/Products/Software/2\\_3DynaFS/Boundary-Element-3DynaFS.htm](http://www.dynaflow-inc.com/Products/Software/2_3DynaFS/Boundary-Element-3DynaFS.htm) (дата звернення: 25.01.2019)
30. Lattice Boltzmann methods, Boundary element method, Finite element method // Онлайн-сервіс Google Trends. URL: <https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=%2Fm%2F0d1k8r,%2Fm%2F05mrtf,%2Fm%2F03110> (дата звернення: 02.03.2019)
31. Lattice Boltzmann methods, Boundary element method // Онлайн-сервіс Google Trends. URL: <https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=%2Fm%2F0d1k8r,%2Fm%2F05mrtf> (дата звернення: 02.03.2019)
32. Риццо Ф. Метод граничных интегральных уравнений – современный вычислительный метод прикладной механики // Механика. Новое в зарубежной науке. – М.: Мир, 1978, С. 11-17.
33. Довгий С.А., Лифанов И.К., Черний Д.И. Метод сингулярных интегральных уравнений и вычислительные технологии. – К.: Издательство «Юстон» 2016, 380 с.
34. Белоцерковский С.М., Лифанов И.К. Численные методы в сингулярных интегральных уравнениях. – М.: Наука, 1985. – 256 с.
35. Довгий С.О., Ляшко С.І., Черний Д.І. Алгоритми методу дискретних особливостей для обчислювальних технологій. // Кібернетика і системний аналіз. 2017, №6, С. 147-159.
36. Sarpkaya T. Computational methods with vortices. The 1988 Freeman Scholar Lecture // J. of Fluids Engineering. 1989. Vol. 111. P. 5–52.
37. Головенко А.Д., Голубев С.А., Черний Д.И. Вычислительные особенности нестационарных аэродинамических задач. // Журнал обчислювальної і прикладної математики, №1 т. (104) 2011, С. 24-39.

## REFERENCES

1. Betyaev S. K. Hydrodynamics: Problems and Paradoxes //Advances in the physical sciences. – 1995. - V. 165, №3. – С. 299-330. (In Russian).
2. Keith Hanna CFD Breaks the \$Billion Barrier! // Mentor Blogs Дата оновлення: 26.03.2015. URL: <https://blogs.mentor.com/khanna/blog/2015/03/26/cfd-breaks-the-billion-barrier/> (дата звернення: 01.09.2018).
3. Web Site ANSYS. URL: <https://www.ansys.com/> (дата звернення: 01.09.2018)
4. Tameirão Sampaio Rodrigues, Laura & Coelho e Silva, Lucas & Costa Machado, Lucas & Greco, Marcelo & Leo Gélape, Cláudio. (2016). Simulations of Artificial Biological Heart Valves with ANSYS <http://volitans.wix.com/esschallenge>. 10.13140/RG.2.1.3146.7925.
5. ANSYS Academic // Web Site ANSYS. URL: <https://www.ansys.com/academic> (дата звернення: 11.01.2019)
6. Web Site OpenFOAM. URL: <https://openfoam.org/> (дата звернення: 01.09.2018)
7. Сайт версії пакету OpenFOAM, що розробляється компанією OpenCFD. URL: <https://www.openfoam.com/> (дата звернення: 01.09.2018)
8. URL: <https://sourceforge.net/projects/foam-extend/> (дата звернення: 14.03.2019)
9. Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities // URL: <http://gmsh.info/> (дата звернення: 08.04.2019)
10. A Comparison of CFD Software Packages //Website Resolved Analytics. URL: <https://www.resolvedanalytics.com/theflux/comparing-popular-cfd-software-packages> (01.09.2018)
11. STAR-CCM+ // Website Siemens PLM Software. URL: <https://mdx.plm.automation.siemens.com/star-ccm-plus> (дата звернення: 01.09.2018)

12. Femap//Website Siemens PLM Software. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/femap/> (01.09.2018)
13. Website ADINA. URL: <http://www.adina.com/> (01.09.2018)
14. Website MSC Software. URL: <http://www.mscsoftware.com/> (дата звернення: 01.09.2018)
15. Computational Fluid Dynamics // Website MSC Software. URL: <http://www.mscsoftware.com/application/computational-fluid-dynamics> (01.09.2018)
16. Understand, Predict, and Optimize Engineering Designs with the COMSOL Multiphysics® Software // Website COMSOL. URL: <https://www.comsol.com/comsol-multiphysics> (01.09.2018)
17. SU2, the Open-Source CFD Code // <https://su2code.github.io/> (19.03.2019)
18. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” // Сайт компанії Dassault Systèmes. URL: <https://www.3ds.com/customer-stories/single/university-of-ukraine/> (12.01.2019)
19. <http://mmi-dmm.kpi.ua/index.php/ua/newsletter/178-ispolzovanie-informatsionnykh-sistem-i-tehnologij-catia-v-uchebnom-protseesse-ntuu-kpi.html> (12.01.2019)
20. SOLIDWORKS Flow Simulation / Website SOLIDWORKS. URL: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-flow-simulation> (01.09.2018)
21. Abaqus/CFD // Website Dassault Systèmes. URL: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/multiphysics/abaquscf/> (дата звернення: 01.09.2018)
22. SIMULIA PowerFLOW // Website Exa Corporation. URL: <https://exa.com/en/product/simulation-tools/powerflow-cfd-simulation> (01.09.2018)
23. XFLOW // Website Dassault Systèmes. URL: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/xflow/> (дата звернення: 01.09.2018)
24. Dr. Ivo Weinhold, Dr. John Parry The Third Wave of CFD // Website Mentor Graphics. URL: <http://go.mentor.com/4gvfp> (24.02.2019)
25. Website Palabos. URL: <http://www.palabos.org/> (01.09.2018)
26. Website OpenLB. URL: <https://www.openlb.net/> (25.01.2019)
27. Website ANKER-ZEMER Engineering AB. URL: <http://www.anker-zemer.com/> (01.09.2018)
28. LINFLOW APPLICATIONS // Website Wayback Machine. URL: [https://web.archive.org/web/20161106013336/http://linflow.us/LF13\\_APPL061.pdf](https://web.archive.org/web/20161106013336/http://linflow.us/LF13_APPL061.pdf)(08.04.2019);
29. 3DynaFS-BEM // Сайт компанії Dynaflow, Inc. URL: [http://www.dynaflow-inc.com/Products/Software/2\\_3DynaFS/Boundary-Element-3DynaFS.htm](http://www.dynaflow-inc.com/Products/Software/2_3DynaFS/Boundary-Element-3DynaFS.htm) (25.01.2019)
30. Lattice Boltzmann methods, Boundary element method, Finite element method // Онлайн-сервіс Google Trends. URL: <https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=%2Fm%2F0d1k8r,%2Fm%2F05mrtf,%2Fm%2F03110> (дата звернення: 02.03.2019)
31. Lattice Boltzmann methods, Boundary element method // Онлайн-сервіс Google Trends. URL: <https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=%2Fm%2F0d1k8r,%2Fm%2F05mrtf> (дата звернення: 02.03.2019)
32. Rizzo F. Boundary Integral Equation Method – Computational Applications in Applied Mechanics // Applied Mechanics Conference. – Troy, New York 1975.
33. Dovgy S.A., Lifanov I.K., Cherniy D.I. The method of singular integral equations and computational technologies. – К.: “Euston” Publishing House 2016, 380 p. (In Russian).
34. Belotserkovsky S.M., Lifanov I.K. Numerical methods in singular integral equations. – М.: Nauka, 1985. – 256 p. (In Russian).
35. S.O. Dovgyi, S.I. Lyashko, D.I. Cherniy. Algorithms of Discrete Singularities Method of Computational Technologies. // Cybernetics and System Analysis, 2017, №6, pp. 147-159.
36. Sarpkaya T. Computational methods with vortices. The 1988 Freeman Scholar Lecture // J. of Fluids Engineering. 1989. Vol. 111. P. 5–52.
37. Golovenko A.D., Golubev S.O., Cherniy D.S. Computational features of non-stationary aerodynamic problems. // Journal of Computational and Applied Mathematics, №1(104), 2011, pp. 24-39. (In Russian).

*Стаття надійшла до редакції 11.03.2019.*

**О.Є. КОВАЛЕНКО**

## **КОМПОЗИЦІЙНА КОНВЕРГЕНЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ЗНАТЬ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ**

***Анотація.** Запропоновано знання-орієнтовану модель конвергенції інформаційних технологій шляхом їх композиції. Визначено відповідність між формальним описом проблемної області та засобами інформаційних технологій. Наведено класифікацію категорій інформаційних технологій та представлено формальну модель їх композиції в системах ситуаційного управління. Запропонований підхід забезпечує облік та конвергенцію засобів інформаційних технологій для вирішення цільових проблем ситуаційного управління шляхом композиції етапів онтологічного аналізу вимог, функціональної декомпозиції, предметної інтерпретації та фізичної реалізації. Використання запропонованої моделі процесу проектування дозволить забезпечити формалізований синтез систем ситуаційного управління для цільової предметної області шляхом конвергенції інформаційних технологій на основі моделей знань.*

***Ключові слова:** система ситуаційного управління, модель знань, конвергенція технологій, композиційна модель.*

**DOI: 10.35350/2409-8876-2019-15-2-40-45**

### **Вступ**

Створення та використання складних технічних систем різного призначення обумовило потребу у виробленні систематичних і цілісних підходів до вирішення проблем їх підтримки впродовж всього життєвого циклу [1]. Побудова і використання систем ситуаційного управління (ССУ) у різних сферах вимагає розробки методів і засобів конвергенції інформаційних технологій для здійснення адекватного ситуаційного управління у цільовій проблемній області. Конвергенція визначається як глибока інтеграція знань, засобів та усіх раціональних видів людської діяльності для досягнення спільної мети, можливостей отримання відповідей на нові питання по зміні відповідної фізичної або соціальної екосистеми [2, 3].

### **1. Загальна постановка задачі, об'єкт, предмет та мета досліджень**

Традиційні технологічні підходи до створення інформаційно-комунікаційних систем (ІКС) потребують додаткових витрат ресурсів (людських, часових, фінансових) для конвергенції технологій у рамках цільової ССУ. Для вирішення цієї проблеми використовуються різні методології модельно-орієнтованої розробки (model-driven development, MDD) систем [4], зокрема такі як предметно-орієнтована розробка (domain-driven development, DDD) [5, 6], розробка, керована вимогами [7, 8], розробка, керована функціональністю (feature driven development, FDD) [9] та ін. Крім того, одним з напрямків підвищення

ефективності розробки ІКС є можливість багаторазового використання готових програмно-технологічних компонентів у нових розробках. Цей напрямок одержав назву "складальне програмування" [10, 11]. Однак такий підхід висуває жорсткі вимоги до функціональної універсальності та стандартизації архітектури інформаційних технологій, а також забезпечення їх портабельності в гетерогенному інформаційному середовищі. Крім того, у створенні спеціалізованих ІКС, зокрема ССУ, беруть участь не лише ІТ-спеціалісти, а й фахівці з предметних сфер застосування ІКС. У зв'язку з цим доцільно створення засобів автоматизації з проблемно-орієнтованої розробки ІКС на основі вимог і знань фахівців з предметної області [12].

## 2. Конвергенція технологій на основі моделей знань

Розробка конвергентних систем в першу чергу вимагає оцінки їх доцільності. Коли ж рішення про необхідність розробки такої системи прийнято, слід формалізувати опис предметної області і провести декомпозицію задачі створення ССУ на підзадачі.

Формальний опис предметної області ситуаційного управління (СУ), для якої створюється проблемно-орієнтована ССУ, є ієрархією концептів (понять) і функціональних перетворень, якими будуть оперувати користувачі. Формальний опис предметної області має також містити узагальнений опис моделі процесів СУ. Композиція технологій СУ повинна здійснюватися з урахуванням архітектури ССУ.

Таким чином, основну задачу композиції ІКТ в рамках конвергентної архітектури ССУ можна визначити як встановлення взаємно однозначної, коректної, оптимальної відповідності між формальним описом прикладної області та засобами інформаційних технологій:

$$F: \langle A, D \rangle \rightarrow \langle B, C, R \rangle, \quad (1)$$

де  $F$  – функція відображення моделі  $A$  предметної області і моделі вимог  $D$  до проблемно-орієнтованої ССУ на множину технологічних засобів (алфавіт) СУ  $B$  і множину функцій управління  $C$  цими технологічними засобами на множині  $R$  допустимих ситуацій у предметній галузі.

Множину  $B$  технологічних засобів СУ, в залежності від їх семантичного змісту та функціональних спроможностей, можна розділити на підмножини, які визначають класи технологічних засобів СУ:

$$B = \bigcup_{i=1}^n B^{(i)},$$

де  $n$  – визначає кількість технологічних засобів. В основу розбивки множини  $B$  на підмножини може бути покладена ознака функціонального призначення, тобто технологічна орієнтація функції, що спирається на певний клас  $B^{(i)}$  технологічних засобів.



За функціональним призначенням можна виділити такі технологічні засоби СУ:

- засоби візуалізації;
- засоби отримання та збереження інформації;
- засоби фільтрації та очищення даних;
- засоби аналітичної обробки;
- засоби персоналізації;
- засоби інформаційної безпеки;
- системні засоби;
- конфігураційні засоби тощо.

У свою чергу всі технологічні засоби можна згрупувати за категоріями застосування:

- організаційна;
- системна;
- предметна;
- допоміжна.

Множина  $C$  функцій управління технологічними засобами включає в себе допустимі операції маніпулювання цими засобами на множині  $R$  допустимих ситуацій.

Таким чином, кінцеву конфігурацію технологій в рамках окремої реалізації ССУ можна представити як процес  $P$  конвергенції технологій в проблемно-орієнтованій ССУ:

$$P = \langle \tilde{B}, \tilde{C}, \tilde{R}, \alpha \rangle, \quad (2)$$

де  $\tilde{B} \subset B, \tilde{C} \subset C, \tilde{R} \subset R, \alpha$  – відношення лінійного порядку на множині  $\tilde{C}$ .

Вихідними даними для процесу  $P$  (2) конвергенції технологій в проблемно-орієнтованій ССУ є узгоджена модель знань:

$$\Pi = \langle \tilde{A}, \tilde{D}, \beta \rangle, \quad (3)$$

де  $\tilde{A} \subset A, \tilde{D} \subset D, \beta$  – функція інтерпретації вимог  $\tilde{D}$  до ССУ у контексті моделі знань предметної області  $\tilde{A}$ .

Процес  $P$  конвергенції може бути розділений на декілька етапів, що відповідають ступеню наближення конфігурації технологій в ССУ до задоволення вимог  $\tilde{D}$ . Важливим при реалізації процесу  $P$  конвергенції є забезпечення поступовості, тобто збереження результатів проміжних конфігурацій конвергентної архітектури незалежно від ступеня задоволення вимог. Отже, кожен етап процесу  $P$  повинен передбачати збереження його результатів.

Першим етапом функціонального відображення  $F$  (1) є логіко-семантичний (онтологічний) аналіз вимог до архітектури технологій ССУ. У процесі відображення отримуємо онтологічне подання моделі вимог з конкретизованими атрибутами, що відповідають моделі предметної області. Для ССУ таке відображення буде мати вид:

$$F_1 : \langle A, D \rangle \rightarrow \langle A_S, D_O, D_S, D_C, D_r, S \rangle, \quad (4)$$

де  $D = D_O \oplus D_S \oplus D_C \oplus D_r$ ;  $F_1$  – функція онтологічного відображення вимог на предметну область;  $D_O$  – множина вимог до організаційних технологій;  $D_S$  – множина системних вимог;  $D_C$  – множина вимог до технологій предметної області;  $D_r$  – множина вимог до допоміжних технологій;  $S$  – множина відношень між концептами предметної області  $A$ ;  $A_S$  – онтологічне представлення моделі знань предметної області.

Наступним етапом відображення (1) є функціональна декомпозиція  $F_2$ , в процесі якої здійснюється розбиття логіко-семантичного представлення, отриманого в результаті відображення  $F_1$  (4), на функціонально однотипні групи, відповідні класам сервісів проблемної області, системної підтримки, функцій організаційної підтримки, допоміжних функцій (наприклад, функцій розширення та інтеграції ССУ):

$$G^{(i)} = \langle A_S^{(i)}, D_O^{(i)}, D_S^{(i)}, D_C^{(i)}, D_r^{(i)}, S^{(i)} \rangle.$$

Тут  $\bigcap_{i=1}^n G^{(i)} = 0$ , де  $n$  – перевірена (верифікована) та підтверджена (валідована) кількість категорій конвергентних технологічних сервісів.

Таким чином, відображення  $F_2$  можна визначити як:

$$F_2 : \langle A_S, D_O, D_S, D_C, D_r, S \rangle \rightarrow \left\langle \bigcup_{i=1}^n G^{(i)}, \Gamma \right\rangle, \quad (5)$$

де  $\Gamma$  – функція фільтрації (верифікації та валідації) логіко-семантичної моделі за категоріями сервісів. Наступним етапом відображення (1) є предметна інтерпретація результатів відображення (5):

$$F_3 : \left\langle \bigcup_{i=1}^m G^{(i)}, \Gamma \right\rangle \rightarrow \langle B, C, R \rangle, \quad (6)$$

де  $m \leq n$  – число функціональних груп, що визначають кінцеву конфігурацію технологій ССУ. Якщо кортеж  $\langle B, C, R \rangle$  відповідає вимогам до сервісів технологій конвергентної архітектури ССУ, то кінцева конфігурація технологій ССУ може бути представлена у вигляді (2). Якщо ж кортеж  $\langle B, C, R \rangle$  являє собою узагальнену конвергентну модель технологій ССУ (наприклад, опис у вигляді моделей формальної нотації), то необхідно провести перетворення узагальненої моделі в екземпляр (варіант) її конкретної фізичної реалізації:

$$F_4 : P \rightarrow P'.$$

Таким чином, відображення (1) можна представити у вигляді суперпозиції відображень:

$$F = F_1 \circ F_2 \circ F_3 \circ F_4,$$

де  $\circ$  – знак суперпозиції, причому, якщо  $P = P'$ , то  $F_3$  – тотожне відображення.

## Висновки

Встановлення відповідності між формальним описом предметної області і засобами інформаційних технологій дозволило застосувати орієнтований на знання підхід до розробки систем ситуаційного управління. Запропонований підхід забезпечує формування репозиторію та конвергенцію засобів інформаційних технологій для вирішення цільових проблем ситуаційного управління шляхом композиції етапів онтологічного аналізу вимог, функціональної декомпозиції, предметної інтерпретації та фізичної реалізації. Використання запропонованої моделі процесу проектування дозволить забезпечити формалізований синтез ССУ для цільової предметної області шляхом конвергенції потрібних ІКТ на основі моделей знань.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коваленко О. Є. Системна інженерія та життєвий цикл систем // Електронне моделювання, т. 40, № 6, С. 61–82, 2018.
2. Roco M. C., Bainbridge W. S. The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society // Journal of Nanoparticle Research, т. 15, № 9, pp. 1-17, 2013.
3. Roco M. C. Convergence-Divergence Process // Handbook of Science and Technology Convergence / W. Bainbridge, M. Roco, eds. – Cham, Springer, 2016, pp. 79-93.
4. da Silva A. R. Model-Driven Engineering: A Survey Supported by a Unified Conceptual Model // Computer Languages, Systems & Structures, № 43, p. 139–155, 2015.
5. Haywood D. An Introduction to Domain Driven Design // Methods and Tools, vol. 17, № 4, pp. 18-37, Winter 2009.
6. Evans E. Domain Driven Design, Definitions and Pattern Summaries. March 2015. [Онлайнвий]. Available: [https://domainlanguage.com/wp-content/uploads/2016/05/DDD\\_Reference\\_2015-03.pdf](https://domainlanguage.com/wp-content/uploads/2016/05/DDD_Reference_2015-03.pdf). [Дата звернення: 04 April 2019].
7. Castro J., Kolp M., Mylopoulos J. A requirements-driven development methodology // International Conference on Advanced Information Systems Engineering, pp. 108-123, June 2001.
8. Castro J., Kolp M., Mylopoulos J. A Requirements-Driven Development Methodology // Seminal Contributions to Information Systems Engineering. – Berlin, Heidelberg, Springer, 2013, pp. 265-280.
9. Ambler S. W. Feature Driven Development (FDD) and Agile Modeling. 2018. [Онлайнвий]. Available: <http://www.agilemodeling.com/essays/fdd.htm>. [Дата звернення: 04 April 2019].
10. Лаврищева Е. М. Сборочное программирование. Теория и практика // Кибернетика и системный анализ. – 2009, т. 45, № 6, С. 3-12.
11. Лаврищева Е. М. Теория объектно-компонентного моделирования программных систем. 2016. [Онлайнвий]. Available: [http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep\\_29\\_2015.pdf](http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep_29_2015.pdf).
12. Kovalenko A., Velev D. Compositional Model of Design Process in the Problem-Oriented CAD of Applied Software // Engineering Simulation. – т. 16, p. 129–133, 1998.

## REFERENCES

1. Kovalenko O. E. (2018). Systems Engineering and Systems Life Cycle. Electronic modeling, Vol. 40, No 6, 61–82. (In Ukrainian)
2. Roco M. C., Bainbridge W. S. (2013). The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. Journal of Nanoparticle Research, т. 15, № 9, 1-17.
3. Roco M. C. (2016). Convergence-Divergence Process. Handbook of Science and Technology Convergence. Cham: Springer, 79-93.
4. da Silva A. R. (2015). Model-Driven Engineering: A Survey Supported by a Unified Conceptual Model. Computer Languages, Systems & Structures, № 43, 139-155.
5. Haywood D. (2009, Winter). An Introduction to Domain Driven Design. Methods and Tools, vol. 17, № 4, 18-37.
6. Evans E. (2015, March). Domain Driven Design, Definitions and Pattern Summaries. Retrieved from [https://domainlanguage.com/wp-content/uploads/2016/05/DDD\\_Reference\\_2015-03.pdf](https://domainlanguage.com/wp-content/uploads/2016/05/DDD_Reference_2015-03.pdf).
7. Castro J., Kolp M., Mylopoulos J. (2001, June). A requirements-driven development methodology. International Conference on Advanced Information Systems Engineering, 108-123.
8. Castro J., Kolp M., Mylopoulos J. (2013). A Requirements-Driven Development Methodology. Seminal Contributions to Information Systems Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer, 265-280.
9. Ambler S. W. (2018). Feature Driven Development (FDD) and Agile Modeling. Retrieved from <http://www.agilemodeling.com/essays/fdd.htm>.
10. Lavrisheva E. M. (2009). Sborochnoe programmirovaniye. Teoria i Practica. [Assembly programming. Theory and Practice]. Cybernetics and Systems Analysis, Vol. 45, No 6, 3-12. (In Russian)
11. Lavrisheva E. M. (2016). Teoria Ob'ektno-Componentnogo Modelirovaniya Programnih System [Theory of object-component modeling of software systems]. Retrieved from [http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep\\_29\\_2015.pdf](http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep_29_2015.pdf). (In Russian)
12. Kovalenko A., Velev D. (1998). Compositional Model of Design Process in the Problem-Oriented CAD of Applied Software. Engineering Simulation, Vol. 16, 129-133.

*Стаття надійшла до редакції 28.05.2019.*

## МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.9+556

<https://orcid.org/0000-0003-1946-0202>

<https://orcid.org/0000-0002-1229-1322>

<https://orcid.org/0000-0001-7153-5983>

<https://orcid.org/0000-0003-0211-520X>

В.Б. МОКІН, І.І. ОВЧАРЕНКО, А.М. ЛУЧКО, О.М. ДАВИДЮК

### ПОБУДОВА МАСШТАБОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ПОШУКОВОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РІЧКОВИМ БАСЕЙНОМ НА ОСНОВІ РЕЄСТРІВ ТА ОНТОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

***Анотація.** Досліджувались варіанти підвищення швидкості масштабованого багатокритеріального пошуку релевантної інформації в інформаційно-пошуковій системі з уніформатними підходами для парсингу вхідних даних на прикладі системи для управління річковим басейном з можливістю пошуку даних за ключовими словами опису предметної області та просторовою і часовою прив'язкою цих даних. Запропоновано удосконалення принципів формалізації та моделі даних для таких систем, які дозволяють швидше здійснювати пошук даних та формування їх датасетів, готових для оброблення, після імпорту та формалізації інформації з різноформатних реєстрів та онтологічних моделей, за рахунок оперування окремими даними, а не складеними з ними типами даних. Кожне з таких даних ув'язується з усіма можливими семантичними мережами системи. Описана робота пілотної версії веб-системи, побудованої за запропонованими принципами, на прикладі роботи з даними моніторингу якості вод у басейні річки Південний Буг.*

***Ключові слова:** онтологічна модель, семантична мережа, інформаційно-пошукова система, план управління річковим басейном, просторові дані, парсер, багатокритеріальний пошук даних.*

**DOI: 10.35350/2409-8876-2019-15-2-46-57**

#### Вступ

Одним із найскладніших завдань підписаної Угоди про асоціацію України з ЄС є імплементація основних вимог Водної Рамкової Директиви ЄС. Фактично ця вимога потребує повної зміни усієї водної політики в країні. Головним у ній є гідрографічне районування країни, виділення річкових басейнів, створення Планів управління річковими басейнами (ПУРБ), які передбачають детальний аналіз

стану водних екосистем, антропогенних впливів на них, стану водоохоронних територій, економічний аналіз водокористування, створення програм заходів для усунення виявлених проблем тощо [1, 2]. Системна багаторічна робота Державного агентства водних ресурсів України, за участі провідних науковців та євроекспертів, спільно з іншими відомствами та за сприяння Верховної Ради України і Кабінету Міністрів України дозволила за відносно стислий термін напрацювати і затвердити законодавчу та нормативно-правову базу переходу на європейські принципи управління річковими басейнами [1–3]. Але в інформаційному плані ситуація набагато складніша.

Звичайно, вже створено нові лабораторії, нові органи управління та ін., які найближчим часом зберуть і дозволять опрацювати інформацію за новими вимогами і підходами, але для задач управління складними природними та соціально-техногенними системами важливим є максимальне врахування релевантної інформації, зібраної в минулому: даних про водокористування, гідрометеоінформації, історичних даних про стан водних екосистем. Ефективні довгострокові прогнози можна робити на основі аналізу не тільки поточного стану – треба враховувати ретроспективні дані.

У той же час у попередні роки так і не був створений єдиний реєстр річок, не було єдиного погодженого між відомствами кодування водних об'єктів водного кадастру. Досі єдиним затвердженим реєстром річок вважається їх перелік у роботі 1983 р. [4]. Однак з вісімдесятих років ХХ ст. існує електронний реєстр спецводокористування 2-ТП (водгосп), з початку дев'яностих – в електронному вигляді, з 1860 р. Український гідрометцентр накопичує гідрометеоінформацію, різними суб'єктами моніторингу вод зібрано величезний обсяг інформації про стан водних екосистем та якість вод у басейнах річок України, багато років ведеться облік режимів експлуатації гідротехнічних об'єктів – всю цю інформацію варто ув'язати з новими підходами до реалізації водної політики, до формалізації екологічної та водогосподарської інформації, з даними, які будуть збиратись вже за новими стандартами – без цього неможливим є розроблення та впровадження ефективних ПУРБ [2, 5, 6]. Отже, актуальним є удосконалення принципів і підходів побудови банку даних інформаційної системи для управління річковим басейном, які дозволять здійснювати швидкий та ефективний пошук даних з можливістю масштабування, тобто різного ступеня агрегації: наприклад, знайшов інформацію про певну річку, одразу цікаво – а що в річці вищого порядку, куди ця річка впадає, або – а що на ділянках цієї річки чи на водогосподарських об'єктах на ній? Слід розробити алгоритми наповнення такої системи і ретроспективними даними, часто погано формалізованими і систематизованими, і сучасними, зібраними вже на основі єдиних реєстрів, у т.ч. узгоджених з європейськими.

Побудована за такими принципами система дозволить зробити вибірку даних за заданими критеріями, застосувати потужний інструментарій математичного моделювання, методів системного аналізу, методів прогнозування та теорії прийняття рішень до заданого водного або водогосподарського об'єкта, водної екосистеми чи їх частин, що дозволить здійснити наукове обґрунтування економічно ефективних рішень з управління господарством відповідно до принципів сталого розвитку та з урахуванням принципів інтегрованого та басейнового управління водними ресурсами.

Мета статті – підвищити швидкість масштабованого багатокритеріального пошуку релевантної інформації в інформаційно-пошуковій системі з уніформатними підходами для парсингу вхідних даних на прикладі системи для управління річковим басейном з можливістю пошуку даних за описом предметної області та просторовою і часовою прив'язкою цих даних.

## 1. Загальна постановка задачі

Як відомо, існує декілька основних підходів для створення баз даних інформаційно-пошукових систем. Найбільш поширеними підходами є, по-перше, побудова реляційних баз даних, коли усі дані чітко зв'язуються між собою за наперед заданим алгоритмом [5], але такий підхід є ефективним для формалізації лише реєстрів, наприклад КОАТУУ чи реєстру масивів вод, разом із водогосподарським та гідрографічним районуванням, оскільки гарантує однозначність віднесення заданого об'єкта до того чи іншого класу та його зв'язок з іншими. Для задач з певною невизначеністю подібних зв'язків, в першу чергу семантичною, найбільше поширення отримав підхід на основі онтологічних моделей, в Україні відомий, наприклад, за роботами О. Є. Стрижака, М. А. Попової, В. О. Подліпаєва, В. О. Шумейка, О. В. Атрасевича, В. Б. Мокіна та ін. [7–10]. Теоретично перший підхід можна вважати підвидом другого, але принцип формування у них різний (у першому – чітко формалізований, у другому – переважно евристичний).

Особливістю управління річковими басейнами, як і іншими складними розподіленими у просторі системами, що зазнають активного зовнішнього впливу є прив'язка до різних реєстрів. І така прив'язка може бути як чітко формалізованою у різних реєстрах (КОАТУУ, реєстр масивів вод України тощо), геоінформаційних системах і довідниках, так і мати лише семантичну просторову прив'язку на кшталт середня чи верхня течія (частина) річки чи її водозбірного басейну. Подібна формалізація даних і на основі довідників, і на основі семантичних онтологій, і на основі чітких відношень між даними з урахуванням їх прив'язки у просторі та у часі вже була запропонована одним із авторів у роботі [10]. Однак недоліком зазначеного підходу є те, що результатом пошуку був не набір готових для оброблення даних, а набір лише посилань на файли відкритих даних, які містять необхідну інформацію. У даній роботі ж стоїть задача отримати на виході єдиний набір даних у форматі XML, JSON чи CSV, готовий до оброблення різними математичними методами та інформаційними технологіями. Уточнимо математичну постановку задачі в термінах і позначеннях робіт [5, 7–10].

Як відомо, онтологія  $O_i$  описується трійкою [8]:

$$O_i = \langle X, R, F \rangle, \quad (1)$$

де  $X$ ,  $R$ ,  $F$  – кінцеві множини відповідно:  $X$  – концептів (понять, термінів), які характеризують набір даних,  $R$  – відношень між концептами цих даних,  $F$  – функцій інтерпретації  $X$  та/або  $R$  у певній інформаційній системі.

У роботі [10] пропонувалось за моделлю (1) формалізувати дані категорій «Простір»  $O_p$  (наприклад, басейн р. Південний Буг, басейн р. Соб, Хмельницька область, Вінницька область тощо з урахуванням їх співвідношень) та «Ключові

слова»  $O_K$  (води суші, поверхневі води, скид зворотних вод, водозабір, гребля, ГЕС, якість вод, концентрація нітратів, розчинений у воді кисень тощо):

$$O_p = \langle X_p, R_p, F_p \rangle, \quad (2)$$

$$O_K = \langle X_K, R_K, F_K \rangle, \quad (3)$$

Формалізація прив'язки даних у часі пропонувалась у вигляді [10]

$$T_i = [T_{i11}, T_{i12}] \cup [T_{i21}, T_{i22}] \cup [T_{i31}, T_{i32}] \cup \dots \cup [T_{i w1}, T_{i w2}], \quad (4)$$

де  $T_{i11}$  та  $T_{i12}$  – початковий та кінцевий моменти  $j$ -го періоду ( $j = 1, 2, \dots, w$ )  $i$ -го набору даних у днях з розбиттям часового періоду на чіткі фрагменти, наприклад рік (01.01-31.12), квартал, місяць, декада, тиждень.

Для кожного файлу з набором даних здійснювалась прив'язка в часі, просторі і по ключових словах [10]:

$$D = [T, \{O_p\}, \{O_K\}], \quad (5)$$

де символ  $\{\}$  означає, що можлива багатоваріантність прив'язки і в просторі (басейн р. Південний Буг, Вінницька область), і по ключових словах (води суші, поверхневі води, якість вод, концентрація нітратів) до відповідних семантичних мереж, побудованих на основі онтологічних моделей (2) та (3). За цими принципами протягом 2016-2017 рр. була створена пілотна версія інформаційно-пошукової системи ISODATA (isodata.mmss.vntu.edu.ua/). Однак її практичні випробування виявили ряд недоліків. По-перше, на виході є цінними не стільки набори даних, скільки – окремі дані, які максимально є релевантними заданому запиту. По-друге, для часової прив'язки теж можливе застосування онтологічних моделей (наприклад, тепла чи холодна пора року):

$$O_T = \langle X_T, R_T, F_T \rangle, \quad (6)$$

крім того, часто дата невідома точно – є лише семантична прив'язка, наприклад «1-й квартал» без дати, яку формально замінити на 01.01-31.03 чи на 15.02 не зовсім коректно. По-третє, онтологічні моделі містять певну невизначеність та багатоваріантність, що ускладнює використання цих моделей для формалізації реєстрів, де часто забороняється неоднозначність трактування – для них частіше використовуються моделі, подібні до тих, які наведені у роботі [5]:

$$R_1 \subset R_2 \subset R_3 \subset R_4 \subset R_5, \quad (7)$$

де індекс біля  $R$  означає рівень агрегації утворення (1 – найменший). Іноді на якомусь рівні допускаються й варіанти (наприклад, 2-й рівень – обласні ради, 3-й – районні або міські ради). Як правило, реєстри мають чітке кодування об'єктів у них, яке й відтворює модель (6). Наприклад, водогосподарська ділянка № М5.1.5.59 означає басейн р. Остер («.59») суббасейну річки Десна («.5»), району басейну річки Дніпро («.1»), який впадає у Чорне море («М5») [2].



Далі пропонуємо модель вигляду (6) позначати як  $\{\{R_{1-5}\}\}$ , що означає 5-рівневий реєстр об'єктів. У загальному вигляді для просторових об'єктів реєстри пропонуємо позначати як  $\{\{R_p\}\}$ , а для інших семантичних зв'язків (наприклад, реєстр чи довідник показників якості води) –  $\{\{R_K\}\}$ . Позначенням  $\{\{\{R_p\}\}\}$  пропонуємо позначати множину реєстрів просторових об'єктів, яких, в загальному випадку, може бути багато за різними критеріями (реєстр адміністративних утворень КОАТУУ, реєстр масивів вод, реєстр рибогосподарських водойм, реєстр об'єктів природно-заповідного фонду тощо). Аналогічно, позначенням  $\{\{\{R_r\}\}\}$  пропонуємо позначати множину інших реєстрів або довідників можливих видів об'єктів (не за просторовими ознаками), яких теж може бути багато (довідник показників якості води, довідник видів очисних споруд, довідник видів гідротехнічних споруд тощо). А позначенням  $X_p \subset \{\{\{R_p\}\}\}$  будемо позначати належність елемента  $X_p$  кожному з цих реєстрів.

Реєстри можуть задаватись у різний спосіб. Наприклад, в країнах ЄС існує директива INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community), яка, за даними однойменного порталу [inspire.ec.europa.eu](http://inspire.ec.europa.eu), спрямована на створення інфраструктури просторових даних країн-членів ЄС для цілей екологічної політики і політики та діяльності країн ЄС, які можуть вплинути на навколишнє середовище [11], згідно з якою усі можливі просторові особливості просторових об'єктів формалізуються, як правило, у форматі XML.

Отже, задача, яка має бути розв'язана в даній статті, це – побудова моделі даних інформаційної системи, яка забезпечить результат пошуку:

$$D = \{D\} : \left( (X_T = [T_1^*, T_2^*]) \cup (X_T = X_T^*) \cup (X_p = \{\{R_p\}\}) \cup (\{\{\{R_p\}\}\} = X_p^*) \cup (X_p = X_p^*) \cup (\{\{R_K\}\} = X_K^*) \cup (X_K = X_K^*) \right), \quad (8)$$

тобто пошук множини даних  $\{D\}$  такої, що, по-перше, прив'язка в часі  $X_T$  кожного з цих даних буде охоплюватись заданим періодом, по-друге, семантично цей час буде відповідати онтології  $X_T^*$ , по-третє, просторова прив'язка усіх даних  $X_p$  буде стосуватись елемента відповідного реєстру  $\{\{R_p\}\}$ , вчетверте, семантично ця прив'язка буде відповідати онтології  $X_p^*$ , вп'яте, по інших (непросторових) ключових словах прив'язка усіх даних  $X_K$  буде стосуватись елемента відповідного реєстру  $\{\{R_K\}\}$ , вшосте, семантично ця прив'язка буде відповідати онтології  $X_K^*$ .

Крім цього, така система повинна забезпечувати евристичний пошук, коли додатковими умовами будуть ще й такі:

$$\left( (X_p = X_p^*) \subset \left\{ \left\{ \left\{ R_p \right\} \right\} \right\} \right) \cup \left( (X_k = X_k^*) \subset \left\{ \left\{ \left\{ R_k \right\} \right\} \right\} \right), \quad (9)$$

тобто просторова прив'язка усіх даних  $X_p$  (наприклад, «Волинська область», «Рівненська область», «район басейну річки Дніпро») семантично буде відповідати онтології  $X_p^*$  («басейн річки Прип'ять»), але ця прив'язка, у свою чергу, буде відповідати певним реєстрам  $\left\{ \left\{ \left\{ R_p \right\} \right\} \right\}$  (в даному випадку – КОАТУУ та гідрографічного районування), аналогічно – для  $X_k$ .

А найбільш цінною особливістю такої інформаційно-пошукової системи має стати те, що модель даних повинна враховувати, що ряд ознак об'єктів вищого рівня можуть поширюватись і на об'єкти нижнього рівня, наприклад статус «рівнинна річка», віднесений до усієї річки, може автоматично бути поширений і на кожен її ділянку.

## 2. Ідеї розв'язання задач

Для розв'язання поставлених задач пропонуються такий ряд принципів та підходів:

1. Для прив'язки кожного даного до усього розмаїття характеристик, реєстрів, показників тощо пропонується відмовитись від намагання оптимізації комп'ютерного місця (пам'яті), яке на це виділяється, і зберігати та індексувати окремо кожне дане, а не набір даних (таблицю). Це є обгрунтованим саме для задачі управління річковими басейнами, де інформації не так вже й багато, але уся вона є дуже цінною в соціальному, екологічному та економічному плані. Крім того, в наш час хмарних технологій, датацентрів та постійного здешевлення вартості комп'ютерної пам'яті для зберігання інформації такий підхід є економічно обгрунтованим. Саме такий принцип забезпечив успіх відомого агрегатора версій програмного забезпечення GitHub, який на відміну від аналогів, що зберігають лише відмінності однієї версії від іншої і що спричиняє багато ускладнень подібних зв'язків, зберігає весь програмний код усіх версій кожної програми.

2. Для автоматизованого формування семантичних мереж на основі онтологічних моделей пропонується, за аналогією з роботою [10], використати принцип mesh-мереж, коли у разі формування нового елемента такої мережі (до якого прив'язується певне дане D) вказується його відповідність лише об'єктам вищого рівня.

3. Для введення кожного нового набору даних в систему слід створити автоматизований конструктор парсеру, який дозволить один раз налаштувати, яким чином кожне дане цього набору буде максимально ув'язуватись з усіма наявними реєстрами та онтологічними моделями в системі.

4. Для формалізації реєстрів створити типові конструктори парсерів, які дозволять для кожного реєстру створити його інформаційний аналог з можливістю оновлення, який буде зручно інтегруватись з іншими видами даних, передусім з онтологічними моделями, що дасть змогу досить швидко наповнити систему необхідними довідковими даними.

5. Забезпечити можливість прирівняння альтернативних варіантів назв елементів семантичних мереж, які будуть оброблятися як однакові (наприклад,

«Південний Буг» = «П. Буг» = «Southern Bug» = «Southern Booh» = «S. Bug» = «S. Booh» або «БСК5» = «Біохімічне споживання кисню» = «Біохімічна потреба кисню» = «Biochemical Oxygen Demand» = «Biological Oxygen Demand» = «BOD»), що суттєво розширить можливості системи.

### 3. Алгоритм роботи парсеру системи

На даний момент існує певна кількість баз відкритих даних про водні ресурси України. Проте важливою їх особливістю є те, що кожна з них зберігає дані у власному форматі, вони – не уніфіковані. Тому тут постає проблема синхронізації даних між цими системами. Більшість систем дозволяють завантажити дані у вигляді файлів форматів csv, xls,xlsx, dbf та ін. Деякі з них підтримують і мають хоча б якийсь API, проте воно майже в усіх системах не є відкритим і про нього взагалі ніякої інформації не надають. Тому формально, якщо конкретизувати задачу, потрібно реалізувати парсери файлів зі специфічною структурою даних, які надають сервіси.

Розглянемо принципи роботи запропонованої технології на прикладі двох сервісів відкритих даних про стан водних ресурсів: системи «Чиста вода» (texty.org.ua/water) і системи «Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України» Державного агентства водних ресурсів України (monitoring.davr.gov.ua). Обидва з них мають власне API, яке на виході повертає csv-файл з певним форматом даних.

Дані в цих файлах мають спільні риси в структурі: вони складаються з інформації про водні об'єкти (назва, географічне положення та інша інформація), характеристик, по яких здійснювались вимірювання на цих об'єктах і, власне, значень цих вимірювань. Відповідно до цього пропонуємо структуру уніфікованої бази даних (БД) для зберігання даних цих сервісів, подану на рис. 1.

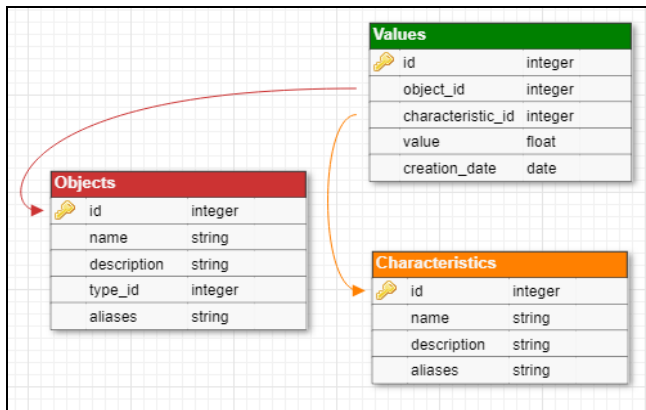


Рисунок 1 – Загальна структура БД розроблювальної системи

Таблиця «Objects» містить дані про об'єкти (водні, водогосподарські тощо), «Characteristics» – опис характеристик цих об'єктів (показники якості води, параметри гідротехнічних споруд, джерело даних (власник) тощо), «Values» – значення характеристик об'єктів.

Усі дані у файлах відкритих даних csv, xls, dbf, як правило, згруповані по стовпцях, тому конструктору парсерів просто потрібно вказувати, який стовпець є, наприклад, назвою об'єкта, який – назвою характеристики і т.д. В парсері ми вказуємо перелік стовпців файлу і зв'язки з полями відповідної таблиці (рис. 2) – це типовий підхід для такого роду сервісів.

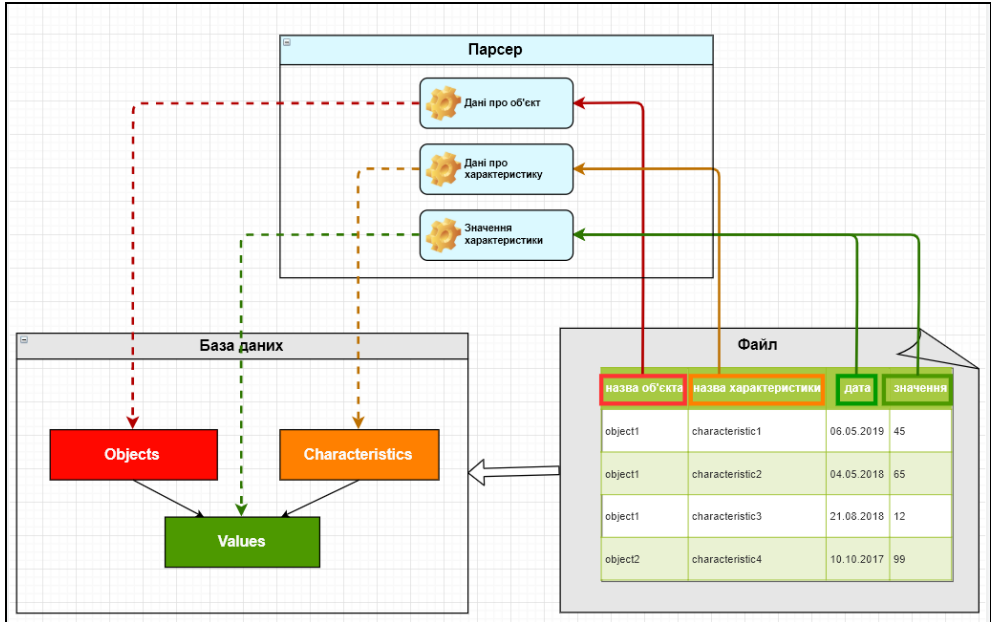


Рисунок 2 – Схема парсеру сервісів даних, необхідних для управління водними ресурсами

Далі після того, як визначені зв'язки між стовпцями файлу і відповідними полями сутностей БД, парсер буде проходити по усіх записах у файлі і конвертувати (уніфікувати) дані у БД. Якщо даних в БД для даного запису немає, то записуємо його, якщо є – пропускаємо. Слід зазначити, що об'єкти і характеристики в БД мають набір «псевдонімів» (поле «aliases»), оскільки ці сутності можуть мати альтернативні назви, яку було зазначено вище щодо назви р. Південний Буг та показника якості води «БСК5».

#### 4. Приклад реалізації системи

Першим етапом розв'язання поставленої задачі є наповнення інформаційно-пошукової системи даними, за допомогою сконструйованих за запропонованими вище підходами парсерів. На основі наведеного вище алгоритму було створено парсер для сервісу «Чиста вода». Цей сервіс дозволяє отримати дані про стан водних ресурсів, які доступні за API у вигляді csv-файлу, що має структуру, наведену на рис. 3.

```

1 "id","name","Відомчий.код.ПС","river","Назва.лабораторії","date","key","value","point","doc","mean","dev","size","last_date","lat","lon"
2 27222,"р. Дністер, 836 км, м. Зализич, в/п, прав. берег, 50 м нижче мосту через річку по дорозі Черніці - Тернопіль","ЧЕР ДНЕСТР 0000 0000 0000 0000 0000
3 27223,"р. Дністер, 900 км, с. Митків, правий берег, 200 м вище станції першого підйому в/п м. Черніці","ЧЕР ДНЕСТР 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
4 27224,"р. Дністер, 826 км, с. Хотин, в/п, лівий берег, 600 м вище мосту дороги Черніці-Камин.-Под.", "ЧЕР ДНЕСТР 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0026 10
5 27226,"р. Дністер, 708 км, с. Корвань, Дністророське відсл., пр. берег, Сепелівське в районі насосної станції м.Кам'яного", "ЧЕР ДНЕСТР 0000 0000 0000 00
6 27227,"р. Дністер, 675 км, Дністророське відсл., в/б'єф, пр. берег, 500 м вище греблі ГЕС - 1", "ЧЕР ДНЕСТР 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0675 13 77", "Дніс
7 27229,"р. Дністер, 674 км, Дністророське відсл., в/б'єф, пр. берег, 500 м нижче греблі ГЕС - 1", "ЧЕР ДНЕСТР 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0674 14 77", "Дніс
8 27229,"р. Дністер, 650 км, с. Наславча, кордон з Молдовою, в/б'єф Вінницько-Дністророської ГЕС", "ЧЕР ДНЕСТР 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0650 15 77", "Дністе
9 27230,"р. Дністер, 631 км, м. Ковчів - Подільський, (міст), Вінницька обл., митний перехід з Республікою Молдова", "ЧЕР ДНЕСТР 0000 0000 0000 0000
10 27231,"р. Дністер, 550 км, с. Днізнівка, Ямільський р-н, Вінницької обл., кордон з Молдовою, лівий берег, після сьмду з очисних споруд м. Сорочині
11 27303,"р. Сірець, 418 км, с. Черепівці, міст, прикордонна зона з Румунією", "ЧЕР ДУНАЙ 0181 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0418 02 77", "Дунай", "Басейнова лав
12 27304,"р. Сірець, 448 км, м. Сторожинця, в/п", "ЧЕР ДУНАЙ 0181 0000 0000 0000 0000 0448 01 77", "Дунай", "Басейнова лабораторія моніторингу вод та зр
13 27307,"р. Прут, 790 км, сел. Неполоківці, кордон Та.-Франківської і Чернівецької обл.", "ЧЕР ДУНАЙ 0174 0000 0000 0000 0000 0790 03 77", "Дунай", "Е
14 27308,"р. Прут, 772 км, с.Лежківці, в/п м. Черніці, лівий берег, 500 м вище мосту по дорозі на Черніці", "ЧЕР ДУНАЙ 0174 0000 0000 0000 0000 0000 0772
15 27309,"р. Прут, 759 км, с. Магала, лівий берег, 3 км нижче мосту по дорозі Черніці-Хотин, 600 м вище сьмду стічних вод м. Черніці", "ЧЕР ДУНАЙ 01
16 27310,"р. Прут, 712 км, с. Тарасівці, (міст) - Орфтяни, прикордонна зона з Румунією", "ЧЕР ДУНАЙ 0174 0000 0000 0000 0000 0712 06 77", "Дунай", "Бас
17 27311,"р. Прут, 697 км, с. Костичани, кордон з Румунією та Молдовою, 200 м нижче впадіння в р. Прут з Червоною", "ЧЕР ДУНАЙ 0174 0000 0000 0000 0000 0000
18 27312,"р. Прут, 678 км, с. Мамалига, прикордонна зона з Румунією та Республікою Молдова", "ЧЕР ДУНАЙ 0174 0000 0000 0000 0000 0678 08 77", "Дунай", "Е
19 26960,"р. Уж, 170 км, м. Коростень, лівий в/п", "ЧЕР ДНІПР 0981 0028 0000 0000 0000 0172 01 18", "Дніпро", "Лабораторія моніторингу вод та зручтів
20 26957,"р. Уборть, 120 км, с. Рудна Хоминська, кордон з Білоруссю", "ЧЕР ДНІПР 0981 0280 0000 0000 0000 0122 01 18", "Дніпро", "Лабораторія моніторин
21 26952,"р. Случ, 155 км, с. Уста, кордон Рівненської і Житомирської обл-в", "ЧЕР ДНІПР 0981 0412 0105 0000 0000 0155 01 56", "Дніпро", "Лабораторія мо
22 26956,"р. Лавь, 100 км, с. Переморин, кордон з Білоруссю", "ЧЕР ДНІПР 0981 0339 0043 0000 0000 0100 01 56", "Дніпро", "Лабораторія моніторингу вод та з
23 26953,"р. Случ, 4 км, с.Колпа", "ЧЕР ДНІПР 0981 0412 0105 0000 0000 0038 04 56", "Дніпро", "Лабораторія моніторингу вод та зручтів Рівненського обл
24 26955,"р. Ствига, 95 км, с. Поляна, кордон з Білоруссю", "ЧЕР ДНІПР 0981 0339 0000 0000 0000 0095 01 56", "Дніпро", "Лабораторія моніторингу вод та з
25 26954,"р. Жомора, 52 км, м. Поповичі, лівий в/п міста", "ЧЕР ДНІПР 0981 0412 0105 0268 0000 0052 01 68", "Дніпро", "Лабораторія моніторингу вод та зр
26 26951,"р. Случ, 203 км, м. Іваград-Володарський, лівий в/п", "ЧЕР ДНІПР 0981 0412 0105 0000 0000 0203 02 18", "Дніпро", "Лабораторія моніторингу вод
27 26950,"р. Случ, 406 км, с.Чернівці, Красківського р-ну, лівий в/п м. Хмельницький", "ЧЕР ДНІПР 0981 0412 0105 0000 0000 0406 01 68", "Дніпро", "Л
28 26949,"р. Уста, 24 км, м. Рівне, 2 км нижче міста, вплив вулкан", "ЧЕР ДНІПР 0981 0412 0302 0000 0000 0024 01 56", "Дніпро", "Лабораторія моніторингу
29 26945,"р. Горинь, 478 км, м. Славути, зона впливу ХАБС", "ЧЕР ДНІПР 0981 0412 0000 0000 0000 0478 05 68", "Дніпро", "Лабораторія моніторингу вод та з
30 26846,"р. Голубок, 67 км, с.Славута, вплив з Білоруссю", "ЧЕР ДНІПР 0981 0412 0000 0000 0000 0667 06 56", "Дніпро", "Лабораторія моніторингу вод та з

```

Рисунок 3 – Приклад csv-файлу з даними сервісу «Чиста вода»

Файл містить наступні інформативні поля (стовпці): "id" – ідентифікатор запису; "name" – назва посту; "Відомчий.код.ПС" – відомчий код; "river" – назва річки, на якій здійснили дане вимірювання (просторова прив'язка); "Назва.лабораторії" – назва лабораторії; "date" – дата вимірювання (часова прив'язка); "key" – назва характеристики (назва забруднюючої речовини); "value" – значення характеристики; "lat" – широта; "lon" – довгота GPS-координат місця спостереження.

Виділимо з цих полів ті, що відносяться до опису об'єктів. Ними є такі поля: "name", "Відомчий.код.ПС", "river", "Назва.лабораторії". Виділимо поля, що відносяться до опису характеристики. Це – лише поле "key". Виділимо поля, які містять значення характеристик: "date" і "value". Також до них належать поля "lat" і "lon", які містять в собі зарезервовані в системі характеристики для об'єкта «широту» і «довготу», відповідно. Отже, ми визначили для даного парсеру необхідні дані з файлу. Далі відбувається зчитування даних з файлу, конвертація і їх запис в БД розроблювальної системи. Такий парсер реалізовано в пілотній версії системи (рис. 4).

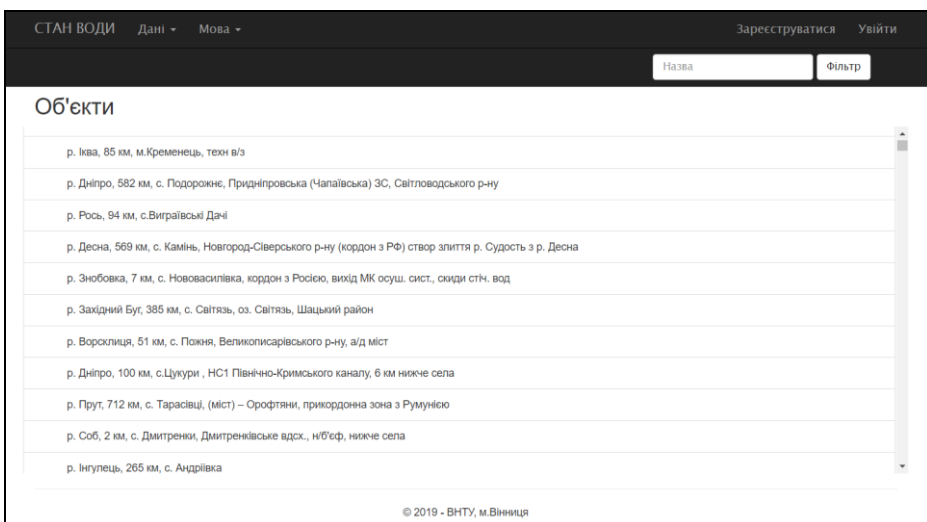


Рисунок 4 – Синхронізовані об'єкти

Додатково були створені передумови для формалізації і реалізації парсерів для завантаження в систему довідкових даних та для формування на основі даних реєстрів та результатів роботи парсерів інших вхідних даних онтологічних моделей та семантичних мереж системи.

Наступним етапом роботи інформаційно-пошукової системи є конструювання зручної форми для вибору критеріїв пошуку даних у системі, які враховували б структуру даних та їх взаємозв'язки, у т.ч. семантичні, з іншими даними за запропонованими у даній роботі підходами. На рис. 5 наведено приклад запиту, який відповідає наведеній на рис. 1 структурі даних, а на рис. 6 – приклад його виконання.

The screenshot shows a search query form with the following fields and values:

- Об'єкт:** р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця, Сабарівське вдсх, питний в/з міста, Вінницяоблводоканал
- Характеристика:** БСК5..мгО.дм3
- Тип:** якість вод
- Дата:**
  - Від:** 01.03.2018
  - До:** 31.05.2018

Buttons for selection are labeled: "Оберіть об'єкт", "Оберіть характеристику", and "Оберіть тип об'єкту".

Рисунок 5 – Приклад запиту в пілотній інформаційно-пошуковій системі

	A	B	C	D	E
1	Об'єкт	Суб'єкт моніторингу	Характеристика	Дата	Значення
2	р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця, Сабарівське вдсх, питний в/з міста, Вінницяоблводоканал		Мінімальне за місяць БСК5, мгО2/дм3	03.2018	5,68
3	р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця, Сабарівське вдсх, питний в/з міста, Вінницяоблводоканал		Максимальне за місяць БСК5, мгО2/дм3	03.2018	5,92
4	р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця, Сабарівське вдсх, питний в/з міста, Вінницяоблводоканал		Мінімальне за місяць БСК5, мгО2/дм3	04.2018	5,68
5	р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця, Сабарівське вдсх, питний в/з міста, Вінницяоблводоканал		Максимальне за місяць БСК5, мгО2/дм3	04.2018	5,92
6	р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця, Сабарівське вдсх, питний в/з міста, Держводагентство		БСК5, мгО/дм3	17.04.2018	4,3
7	р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця, Сабарівське вдсх, питний в/з міста, Вінницяоблводоканал		Мінімальне за місяць БСК5, мгО2/дм3	05.2018	5,04
8	р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця, Сабарівське вдсх, питний в/з міста, Вінницяоблводоканал		Максимальне за місяць БСК5, мгО2/дм3	05.2018	10,56

Рисунок 6 – Результат виконання прикладу запиту

Подальший розвиток системи планується у напрямку наповнення її даними, необхідними для розроблення та верифікації основних розділів Плану управління річковим басейном на прикладі басейну р. Південний Буг.

## Висновки

Розглянуто проблему побудови масштабованої інформаційно-пошукової системи для управління річковим басейном на основі реєстрів та онтологічних моделей. Обґрунтовано, що для пошуку максимально повної та релевантної інформації про задані об'єкти та їх характеристики необхідно враховувати особливості прив'язки інформації у просторі, часі та до певних сутностей (ключових слів), які можуть формалізуватись як через офіційні реєстри, так і через певні семантичні описи. Крім того, слід налагодити створення автоматичних програм-парсерів для завантаження формалізованих і збережених у певний спосіб даних із відомих форматів відкритих даних та офіційних реєстрів, у т.ч. з урахуванням моделей просторових даних як вітчизняного (КОАТУУ), так і європейського досвіду (директива INSPIRE та ін.).

Запропоновано удосконалення онтологічних моделей та принципів формування таких систем шляхом збереження не таблиць даних, а окремих даних, ув'язаних з усіма можливими реєстрами, семантичними мережами та описом предметної області та їх просторової і часової прив'язки. Для формування семантичних мереж запропоновано розвиток принципу формування mesh-мереж, раніше запропонований авторами для збереження таблиць даних у подібних інформаційно-пошукових системах.

Продемонстровано працездатність розробленої моделі та підходів до формалізації побудови масштабованої інформаційно-пошукової системи для управління річковим басейном р. Південний Буг на прикладі імпорту даних про якість поверхневих вод із веб-сервісів Держводагентства та «Чиста вода». Охарактеризовано основні етапи роботи, інтерфейс та особливості функціонування створеної системи.

Широке запровадження таких інформаційно-пошукових систем у сфері управління водними ресурсами України дозволить максимально повно опрацювати усю наявну інформацію про водні та водогосподарські об'єкти, пришвидшити її пошук та отримання у зручному для подальшого оброблення вигляді. Нескладне удосконалення моделі дозволить її застосування і в інших галузях та сферах управління природними ресурсами країни.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Постанова Кабінету Міністрів України № 336 від 18.05.2017 року «Про затвердження Порядку розроблення плану управління річковим басейном».
2. Томільцева А. І., Яцик А. В., Мокін В. Б., Овчаренко І. І. та ін. Екологічні основи управління водними ресурсами : підручник. Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 200 с.
3. Постанова Верховної Ради України № 24, 1995 р. «Водний Кодекс України».
4. Дрозд Н. І. Матеріали по типизации рек Украинской ССР. Академия наук Украинской ССР. 1953. Вып. № 452. С. 350.
5. Мокін В. Б. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми: монографія. УНІВЕРСУМ-Вінниця. 2005. 310 с.
6. Клименко М. О., Мокін В. Б., Овчаренко І. І., Крижановський Є. М., Яцолт А. Р. та ін. [15 співавторів]. Рациональне використання та відновлення водних ресурсів : монографія. Житомир: Вид-во ЖДТУ ім. І. Франка, 2016. – 250 с.
7. Стрижак О. Є., Попова М. А. Формування таксономій шарів карт в ГІС-середовищах на основі онтологій натуральних систем. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2013. Вып. № 4 (63). С. 46-54.
8. Стрижак О. Є. Онтологічні інформаційно-аналітичні системи. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2014. Вып. № 3. С. 71–76.
9. В. О. Подліпаєв, В. О. Шумейко, О. В. Атрасевич. Атрибутивний пошук геопросторових даних та інформації про геопросторові об'єкти у трансдисциплінарному інформаційному середовищі. Математичне моделювання в економіці. 2018. Вып. № 4. С. 21-26.
10. Мокін В. Б., Довгополюк С. О., Боцула М. П., Коханський М. В. Розробка комплексної моделі інформаційно-пошукової веб-системи відкритих числових даних. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017. Вып. № 1. С. 62-69.
11. Van Loenen B. INSPIRE Empowers Re-Use of Public Sector Information / B. van Loenen, M. Grothe // International Journal of Spatial Data Infrastructures Research. – 2014. – # 9. – Pages 86–106. – doi:10.2902/1725-0463.2014.09.art4.

## REFERENCES

1. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 336 dated May 18, 2017 "On Approval of the Procedure for the Development of the River Basin Management Plan".
2. Tomiltseva A.I., Yatsyk A.V., Mokin V.B., Ovcharenko I.I. and others. Environmental Basics of Water Management: A Textbook. Institute for Environmental Management and Sustainable Use, 2017. – 200 p.
3. Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine No. 24 of 1995 "The Water Code of Ukraine".
4. Drozd N. I. Materials on typification of the rivers of the Ukrainian SSR. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. 1953. Issue No. 452. S. 350.
5. Mokin B. B. Computerized regional systems of state monitoring of surface waters: models, algorithms, programs: monograph. UNIVERSUM-Vinnitsia. 2005. 310 p.
6. Klimenko M. O., Mokin V. B., Ovcharenko I. I., Kryzhanovsky E. M., Yaschalt A. R. and others. [15 collaborators]. Rational Use and Recovery of Water Resources: Monograph. Zhytomyr: View at ZHTTU them. Ivan Franko, 2016. – 250 p.
7. Stryzhak O. Ye., Popova M. A. Formation of taxonomies of card layers in GIS-environments on the basis of ontologies of natural systems. Radio electronic and computer systems. 2013. Issue No. 4 (63). Pp. 46-54.
8. Strizhak O. E. Ontological information-analytical systems. Radio electronic and computer systems. 2014. Issue No. 3. P. 71-76.
9. V.O. Podlipaev, V.A. Shumeiko, O.V. Atrasevich. Attributive search of geospatial data and information on geospatial objects in a transdisciplinary informational environment. Mathematical Modeling in Economics. 2018. Vip. No. 4. p. 21-26.
10. Mokin V. B., Dovgopolyuk S. O., Botsula M. P., Kokhansky M. V. Development of a comprehensive model of information retrieval web system of open numerical data. Bulletin of the Vinnitsa Polytechnic Institute. 2017. Issue No. 1 P. 62-69.
11. Van Loenen B. INSPIRE Empowers Re-Use of Public Sector Information / B. van Loenen, M. Grothe // International Journal of Spatial Data Infrastructures Research. – 2014. – # 9. – Pages 86–106. – doi:10.2902/1725-0463.2014.09.art4.

*Стаття надійшла до редакції 18.04.2019.*



**О.В. НЕСТЕРЕНКО**

## **ОНТОЛОГО-КЕРОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В АДМІНІСТРАТИВНОМУ УПРАВЛІННІ**

***Анотація.** Розглядається проблема визначення основних підходів до застосування онтолого-керованих інформаційних систем у сфері адміністративного управління. Наведено теоретико-множинне визначення предметної області у сфері адміністративного управління. Проаналізовано сучасний стан, проблеми і перспективи застосування комп'ютерних онтологій при побудові знанне-орієнтованих інформаційних систем. Обґрунтовано застосування комп'ютерних онтологій для розв'язання задачі оцінки на основі спроможностей в процесі оборонного планування, що проводиться Міністерством оборони України. Представлено мапу світу оборонного планування на основі спроможностей у вигляді низки таксономій суперкласів.*

***Ключові слова:** адміністративне управління, трансдисциплінарність, онтологія, таксономія.*

**DOI: 10.35350/2409-8876-2019-15-2-58-69**

### **Вступ**

Адміністративне управління – це діяльність з управління всередині колективу підприємства, установи, організації, державного органу, що направлена на вирішення завдань, які пов'язані з їх місією та створенням в колективі найкращих умов для її реалізації. Цей термін застосовується до будь-яких типів організацій і слугує для позначення більш абстрактного рівня управління, але в конкретних сферах використовуються уточнюючі терміни. Наприклад, якщо йдеться про громадський сектор, тоді використовується поняття адміністративно-державного управління [1].

Важливе значення у визначенні сутності адміністративного аспекту управління має така основоположна категорія, як організуюча діяльність. Адміністративний аспект управління також характеризується цілесвідченням. Але основний акцент серед методів адміністративного управління робиться на операціях і процедурах підготовки і прийняття управлінських рішень.

У сучасному суспільстві під впливом технологічних революцій й утвердження нових викликів, зокрема щодо відкритості діяльності, а також стосовно процесів інтеграції та глобалізації, роль адміністративного управління корінним чином змінюється. Воно стикається з вирішенням не лише складних соціальних проблем, а й із завданнями реалізації ґрунтовних капіталоємних науково-технічних проєктів та з розв'язанням багатьох питань міжнародної співпраці [2].

У такій ситуації керівникам та фахівцям (експертам) потрібні не лише забезпечення доступу до різнобічної інформації, але й можливість опрацювання широкого спектру знань з предметної області (ПДО) та суміжних областей. При цьому необхідно враховувати, що технологічний розвиток привів до того, що знання набули міждисциплінарного характеру і усе більше отримують ознак трансдисциплінарності [3]. Вочевидь, в умовах збільшення об'ємів даних, що накопичуються і обробляються, вимог швидкої орієнтації в них та використання знань, представлених формальними мовами, забезпечення автоматизації підтримки прийняття управлінських рішень починається з того, що дані, інформація і знання повинні бути структурованими.

У даний час першорядною парадигмою структурування інформації є ієрархічні концептуальні структури, або онтології. Онтологіям відводиться специфічна роль в багатьох напрямках застосувань інформаційних технологій, зокрема в створенні онтолого-керованих інформаційних систем. Цей клас інтелектуальних систем поєднує в собі властивості трансдисциплінарності і онтологічного управління, об'єднаних концепціями цілеспрямованого розвитку і віртуальності [4].

Досвід застосування подібних знання-орієнтованих систем в різних областях людської діяльності свідчить про доцільність їх запровадження і в сфері адміністративного управління, де поряд із завданнями інформаційної підтримки прийняття рішень на перший план виступають питання забезпечення процесів інтеграції, конвергенції, уніфікованого представлення трансдисциплінарних знань і операцій над ними.

При цьому основним напрямом використання трансдисциплінарності є ефективне забезпечення інтеграції інформацій і знань щодо ПДО з метою відтворити цілісну наукову картину ПДО, що базується на вирішенні таких проблем, як побудова ефективної архітектури знання-орієнтованої інформаційної системи, інтеграція розподілених джерел даних, уніфікація принципів конструктивізації знань і їх уявлень, інтеграція процедур інжинірингу знань і когнітивної семантики. Більш того, парадигма, побудована на принципах трансдисциплінарності, передбачає побудову в доступному для огляду майбутньому єдиної системи знань, що забезпечує формалізовані постановку та вирішення конкретних завдань при виконанні комплексних проектів будь-якої складності.

На жаль, у практичній реалізації й в організації адміністративного управління онтолого-керовані інформаційні системи ані з точки зору методології, ані в прикладному аспекті ще не знайшли належної імплементації.

## **1. Загальна постановка задачі, об'єкт, предмет та мета досліджень**

У даному дослідженні ставиться задача визначити основні підходи до застосування онтолого-керованих інформаційних систем в сфері адміністративного управління.

Об'єктом досліджень є застосування інформаційних технологій в сфері адміністративного управління, зокрема для підтримки прийняття рішень.

Предмет досліджень – вирішення проблеми структуризації даних і знань в інформаційних системах, що застосовуються в сфері адміністративного управління.

Мета досліджень – визначити умови та підходи до застосування комп'ютерних технологій та створення онтолого-керованих інформаційних систем в сфері адміністративного управління.

## 2. Методика і результати досліджень

Предметну область, в якій відбуваються процеси прийняття рішень, зазвичай фактично формують об'єкти управління, тому адміністративне управління потребує чіткого уявлення про їх структуру, властивості, про найбільш суттєві аспекти їх побудови і функціонування. У зв'язку із цим ПДО доцільно представляти як деяку систему.

Найзагальнішим визначенням абстрактної системи є теоретико-множинне визначення, коли система описується впорядкованими відношеннями  $R$  множини елементів  $E$ :  $S = (E, R)$ . Пара множин  $(E, R)$  може бути названа структурою  $C = \langle E, R \rangle$ . Структура має деяку множину властивостей  $P$ , які, з урахуванням властивостей елементів, зазвичай є її результатом їх взаємодії на множині відношень.

Для наочності опису складних систем, таких як організаційні і соціально-економічні, множину елементів  $E$  варто стратифікувати на певні рівні [5]. Тоді множину  $E$  назвемо множиною 0-го рівня, а її складові назвемо множинами 1-го рівня системи:  $E^0 = \{E_1^1, E_2^1, \dots, E_N^1\}$ . Вочевидь, будь-яка множина  $E_n^1$  також може бути представленою множиною елементів, які будемо відносити до множин 2-го рівня системи; і цей поділ може бути продовженим, адже для складних систем зазвичай кількість рівнів не вичерпується двома.

Подібний підхід застосуємо й для множини відношень. Тоді реалізовану на множині  $E$  деяку множину бінарних відношень  $R \subset E \times E$ , а також й можливі  $k$ -арні відношення:  $R^k \subset E \times E \times \dots \times E$ , де  $k = \overline{3, N}$ , назвемо відношеннями 0-го рівня:  $R^0 = \bigcup_{k=2}^N R^k$ .

На множинах  $E_n^1$  також діють бінарні і багатомісні відношення  $R^1 = \bigcup_{k=2}^{N^1} R^{1k}$ , а ще й можливі  $R_k^1$  –  $k$ -місні відношення між елементами різних множин 1-го рівня. Назвемо сукупності цих відношень множиною відношень 1-го рівня.

В складних системах відношення можуть діяти не лише на множині одного рівня, але й між елементами множин різних рівнів:  $R^{j,j-1}$  – відношення між елементами  $j$ -го рівня і множинами  $(j-1)$  рівня і т.д.:

$$R^{1-q} = \bigcup_j R^{j,j-1} \bigcup_j R^{j,j-2} \bigcup_j \dots$$

де  $j = 2, \dots, q$ ;  $q = \overline{1, N}$ .

Тоді  $R$  буде позначати деяку множину відношень, реалізованих на множині  $E$ , якщо виділено  $q$  рівнів:  $R = R^1 \cup R^2 \cup \dots \cup R^q \cup R^{1-q}$ .

Вважатимемо, що в результаті вивчення предметної області з більшою або меншою визначеністю стають відомими деякі її властивості. Тоді множину бажаних (цільових) властивостей задамо відображенням  $P^W \rightarrow E: E^S$ ;  $P^W \rightarrow R: R^S$ , де  $E$  і  $R$  – відповідно універсуми елементів і відношень, а  $E^S$  і  $R^S$  – підмножини елементів і відношень, на яких реалізуються деякі бажані властивості  $P^W$ , тобто такі підмножини, що визначають область існування  $P^W$ .

У реальних умовах на  $E^S$  і  $R^S$  накладаються деякі обмеження, які звужують область існування  $P^W$  до допустимої області  $E^P \subset E^S$ ;  $R^P \subset R^S$ . На цих підмножинах можна синтезувати множину допустимих структур  $C^P$ . З них не усі практично відбуваються, тому виділимо підмножину структур, що знаходять практичне відтворення:  $C^{WP} \subset C^P = \langle E^P, R^P \rangle$ . Це дозволяє отримати набір бажаних властивостей  $P^W$ . При цьому кількісний рівень конкретних властивостей буде визначатися кількісними значеннями характеристик елементів  $E^P$  та інтенсивністю відношень  $R^P$  у рамках фіксованої структури  $C^{WP}$ .

За визначенням  $P^W$  є кортежем різнорідних показників, що мають різний сенс, розмірність, напрям домінування, вимірювальні шкали і, в загальному випадку, можуть бути суперечливими. У зв'язку із цим для забезпечення конструктивного аналізу стану ПдО виникає необхідність формування системи узагальнених скалярних, ситуаційно орієнтованих показників.

Останнє означає, що кожному рівню аналізу і проблемній ситуації прийняття рішення відповідає агрегований набір оцінок, що враховують як окремі показники (властивості), так і їх різні групи, аж до повної множини. Ця множина показників є базовою для ідентифікації стану ПдО і виступає, по-перше, як множина показників ефективності функціонування, а по-друге, як множина цільових функцій при розв'язанні задач управління.

Вказана проблема є достатньо складною і має як теоретико-методологічний аспект, пов'язаний із задачею багатофакторного оцінювання та багатокритерійної оптимізації, так і організаційний, що вимагає стандартизації вказаних показників, оскільки тільки в цьому випадку можна побудувати цілісну ієрархію агрегованих моделей і отримати конструктивні абсолютні і відносні оцінки стану ПдО.

Визначення адміністративного управління як цілеспрямованого процесу, направлено на оптимізацію стану предметної області, може бути заданим формулою:  $T \rightarrow \{E(q), R(q)\}$ , де  $E(q)$  – множина елементів  $q$ -рівневої системи;  $R(q)$  – множина відношень (зв'язків), впорядкованих компоненти

в структуру;  $T$  – множина цілей системи (мети). Відображення цієї мети на множину властивостей  $T \subset P$  власне й виділяє деяку підмножину бажаних властивостей  $P^W$ .

У конкретній ситуації може виявитися, що сформовані цілі є недосяжними у рамках заданих обмежень (наприклад, на ресурси) і прийнятих умов діяльності в ПдО. У цьому випадку виникає проблема аналізу досяжності цілей системи управління і пов'язана з нею задача системної оптимізації, яка полягає у тому, що цільові установки й обмеження розглядаються як змінні, що допускають варіювання в деяких межах. Розв'язання такої задачі на складних ієрархічних структурах є принципово неможливим без комплексної моделі даних, що мають опрацьовуватись, та їх взаємозв'язків, зокрема із зовнішнім середовищем.

Як вказувалося, детальним описом предметної області на основі концептуальної схеми, яка складається з ієрархічної структури даних, що містить інформацію про властивості об'єктів, а також про відношення між ними, є комп'ютерна онтологія. Саме формалізація подання зв'язків між поняттями в онтології робить можливим її використання для розв'язання широкого спектру задач підтримки прийняття рішень в таких складних багаторівневих середовищах, про які йшлося вище. Онтологічний підхід дозволяє інтегрувати експертні знання на основі загального розуміння інформаційних структур, надає засоби для аналізу знань щодо ПдО, забезпечує багатократне застосування знань.

У загальному випадку онтологія предметної області формально представляється впорядкованою трійкою  $O = \langle X, R, F \rangle$ , де  $X$  – множина концептів (понять, термінів) предметної області,  $R$  – множина відношень та властивостей між ними,  $F$  – функції інтерпретації (визначень)  $X$  та/або  $R$  [6–8]. Граничні випадки множин цього виразу у різних комбінаціях значень  $X$ ,  $R$  і  $F$  дають різні варіанти онтологічних конструкцій.

Для розв'язання прикладних задач в ПдО за процедурою побудови онтології та з урахуванням її певної функціональної повноти і ступеня формальності зазвичай виділяють так звані тематичні, або предметні онтології – такі онтології, в яких множини концептів та концептуальних відношень є максимально повними, а до функцій інтерпретації додаються аксіоми, визначення та обмеження за тематикою даної ПдО. Над ними надбудовуються онтології задач, які застосовуються при розробці програмного забезпечення, призначеного для виконання конкретної задачі.

Схема формальної моделі тематичної онтології  $O_T$  описується як  $O_T = \langle X, R, F, A(D, L) \rangle$ , де, додатково,  $A$  – скінченна множина аксіом, які використовуються для запису завжди істинних висловлювань (визначень і обмежень) в термінах тематики ПдО;  $D$  – множина додаткових визначень концептів (понять) в термінах тематики ПдО;  $L$  – множина обмежень, що визначає область дії понятійних структур визначеної тематики ПдО.

Таким чином, повноцінний інформаційний супровід розв'язання управлінських задач може полягати в застосуванні експертами онтологічної моделі ПдО шляхом перетворень на основі інтерпретаційних функцій вибору, побудованих за допомогою гіпервідношень над елементами таксономічної структури онтології та властивостями її об'єктів. При цьому важливо, що онтологія забезпечує підтримку прийняття рішень за рахунок можливості програмно-інтерпретованого комп'ютерного подання знань про конкретну ПдО і, як наслідок, застосування для аналізу відповідних інформаційних технологій.

На сучасному етапі часто розглядають онтології у спільному контексті з фреймовими моделями. Фрейми – це абстракція, яка дає змогу подати деякий стереотип інформації. Фреймова структура описує узагальнене, родове поняття, тобто групу (клас) однотипних об'єктів з однаковими характеристиками, поданими відповідними слотами фрейму. У зв'язку із цим цілком можливим є розгляд вузлів онтологічного графу як фреймів з власною внутрішньою структурою. З іншого боку, важливою властивістю фреймових моделей є допустимість введення різноманітних зв'язків між слотами фреймів. Таким чином, система зв'язаних фреймів може являти собою онтологію.

Онтології з фреймами орієнтовані на структурування знань: онтології основний акцент роблять на описуванні різноманітних зв'язків між інформаційними одиницями, а фреймові моделі – на відношеннях узагальнення та агрегації.

Аналіз наявних моделей подання знань свідчить, що перспективним видається й поєднання онтологій і фреймів, наприклад, з продукційними моделями. Приміром, самі знання можна описувати на основі онтологій, а операції над ними задавати як продукції [9, 10]. Таким чином, для моделювання структури та функцій ПДО доцільним є використання поєднання різних моделей подання знань, а саме:

- онтології (концептуальних графів) – для відображення наявних у ПДО семантичних зв'язків між окремими поняттями та їхніми властивостями;
- фреймової – для опису в БД загальної таксономічної структури ПДО;
- правил продукцій, логіки предикатів – для реалізації механізмів міркування, контролю цілісності, наповнення й оптимізації структури і змісту онтології.

Практичний напрям широкого використання онтологій забезпечується напрацьованими міжнародними стандартами і специфікаціями, зокрема, завдяки наявності традиційних мов специфікації онтологій (Ontolingua, CYCL, RDF, OWL), мов, заснованих на дескриптивних логіках, таких як LOOM, мов, заснованих на фреймах – OKBC, OCML, Flogic.

Але при цьому залишається актуальною одна з основних проблем при створенні систем обробки знань – автоматизована побудова множин понятійних структур, відношень між ними і формально-логічного опису, що в сукупності й складають базу знань предметної області, адже її об'єм навіть для незначних ПДО може становити кілька тисяч записів. Особливої складності таке завдання набуває для обробки україномовного сегменту даних, де майже відсутні відповідні стандарти і специфікації.

Тому розробка подібної інтелектуальної програмної системи автоматизованої побудови онтологічних баз знань є важливою і актуальною. Ядром її має бути автоматична обробка природно-мовних текстів (Natural Language Processing) та витяг з множини текстових документів знань, релевантних заданій ПДО, їх системно-онтологічна структурування і формально-логічне представлення на загальноприйнятих мовах опису онтологій (Knowledge Representation) [11].

Водночас можливим є й вирішення загальної проблеми інтеграції даних, яка полягає у забезпеченні взаємодії між онтологічною моделлю та реляційною моделлю даних. У разі поєднання їх загальною семантикою даних певної ПДО, така інтеграція може базуватись на застосуванні універсальних механізмів, наприклад, у відповідності до процесу Data Mapping [12]. Методологічною основою Data Mapping є напрям, який визначається як *Ontology-based data*

integration, теоретичним і практичним розвитком якого є підхід Ontology-Based Data Access (OBDA). Метод інтеграції OBDA зводить онтологічні моделі, представлені, приміром, у вигляді онтографів RDF, з даними реляційних таблиць, а також дозволяє виконувати запити до кількох неоднорідних реляційних джерел даних. Метод передбачає можливість переформатування SPARQL-запитів за онтологічною моделлю на еквівалентні SQL-запити до реляційних БД.

### 3. Приклад використання онтологічного підходу в адміністративному управлінні

Однією з задач адміністративного управління є планування. Результатом планування зазвичай є траєкторія досягнення мети, що у свою чергу означає, що для кожного елемента і відношення, які утворюють структуру системи ПдО, буде визначена траєкторія  $E(t)$  і  $R(t)$  зміни в часі їх якісних і кількісних характеристик. При цьому усі характеристики  $E(t)$  і  $R(t)$  повинні змінюватися погоджено, оскільки тільки в цьому випадку буде досягнутий ефект.

Прикладом складної і водночас важливої проблеми, що вирішується в рамках адміністративного управління, є оборонне планування, яке проводиться Міністерством оборони України. У відповідності до стандартів НАТО згідно з прийнятими Міноборони рекомендаціями оборонне планування має проводитись на основі спроможностей (Capabilities), що передбачає використання єдиної термінології, принципів та завдань, порядку застосування визначених процедур, моніторингу та розвитку спроможностей [13]. Серед існуючих проблем запровадження такого оборонного планування залишається актуальним питання щодо визначення єдиної методології оцінювання на основі спроможностей (ООС) для всіх складових сил оборони.

Простір рішень ООС являє собою складну багатовимірну ієрархічну структуру. Він включає будь-яке поєднання таких базових елементів, як доктринальний базис (Doctrine), організація (Organization), навчання (Training), ресурсне (матеріальне) забезпечення (Materiel), якість управління (лідерство) та освіта (Leadership and Education), персонал (Personnel) та військова інфраструктура (Facilities), що в цілому позначається акронімом DOTMLPF. Крім того, носіями спроможностей є військові організаційні структури, органи управління, окремі засоби і системи. Кожна структурна одиниця сил оборони може мати більш ніж одну спроможність, а кожна спроможність може реалізовуватись більш ніж однією структурною одиницею. Набути ту чи іншу спроможність її носій може не однією, а декількома комбінаціями складових елементів системи. При цьому носії спроможності мають властивості, які характеризуються як кількісними, так і якісними показниками.

У зв'язку із цим у якості методичної основи для вирішення проблеми прийняття раціонального рішення щодо розвитку спроможностей вищезгаданими рекомендаціями пропонується застосовувати методи аналізу багатомірних критеріїв та вибору кращих альтернатив. Але, які б підходи до оцінки альтернатив, що підлягають вибору, не використовувались, для підтримки прийняття рішень експертами у такому складному просторі, як оборонна інфраструктура, необхідно забезпечити збір, подання та аналіз на різних рівнях значної сукупності гетерогенних даних та опрацювання баз знань.

У загальному сенсі база знань представляє світ, у якому існують процеси прийняття рішення, і є значною за об'ємом системою таксономій, що відображають певну ієрархію взаємодії концептів, яка задається за допомогою бінарних відношень. Для складної системи така онтологія має пірамідальну структуру шарів ранжування, починаючи від абстракцій загальних концептів і відношень між ними (онтологія представлення, або вища онтологія, Upper Ontology) (рис. 1). Наступний шар (Core Theories, онтологія ядра, або онтологія верхнього рівня) представляє загальні факти про простір, час і причинності, що є важливими для майже всіх загальноприйнятих суджень, зокрема, у даному світі. Онтології предметних областей (Domain-Specific Theories) описують специфіку тих частин світу, що викликають інтерес при прийнятті конкретних рішень. Нарешті факти (Facts) представляють дані, що стосуються окремих екземплярів (individuals) цього світу.



Рисунок 1 – Пірамідальна структура онтологій бази знань

У зв'язку із цим відповідно до семантики оборонного планування на основі спроможностей онтологічну модель цього світу можна передусім представити низкою таксономій суперкласів – <Class hierarch>, що описують складові планування сил за характеристиками їх спроможностей, а мапа світу оборонного планування на основі спроможностей може бути представленою рис. 2.

Власне онтологічна модель складається з таких суперкласів:

1) <TYPICAL\_CAPABILITIES> (#TC) – типових спроможностей Збройних сил України, що складається з класів: оперативні (#TCO), бойові (#TCF), спеціальні (#TCS); з класів функціональних груп забезпечення готовності військ – співробітництво у сфері безпеки і оборони (#TCC), розгортання та мобільність військ (#TCD), застосування (#TCA), забезпечення, керівництво та управління (#TCM), захист та живучість (#TCV), розвідка (#TCI), військово-політичне керівництво (#TCP), управління ресурсами (#TCR); з деталізацією на стратегічному, оперативному та тактичному рівнях та з подальшим групуванням спроможності на підгрупи (підспроможності);

2) <SCENARIOS\_APPLICATION> (#SA) – сценаріїв застосування військ (сил): перший сценарій (#SA1), другий сценарій (#SA2), третій сценарій (#SA3) і т.д.;

3) <SOLDIERY\_TASKS> (#ST) – військових завдань, що складається з класів: стратегічне розгортання (#STD), операції (#STO), бойові дії (#STF), бої (#STB), удари (#STS);

4) <REQUIREMENTS\_CAPABILITIES> (#RC) – вимог до спроможностей, що складається з класів: перелік умов та критерії виконання завдань за першим сценарієм (#RC1), перелік умов та критерії виконання завдань за другим сценарієм (#RC1) і т.д.;



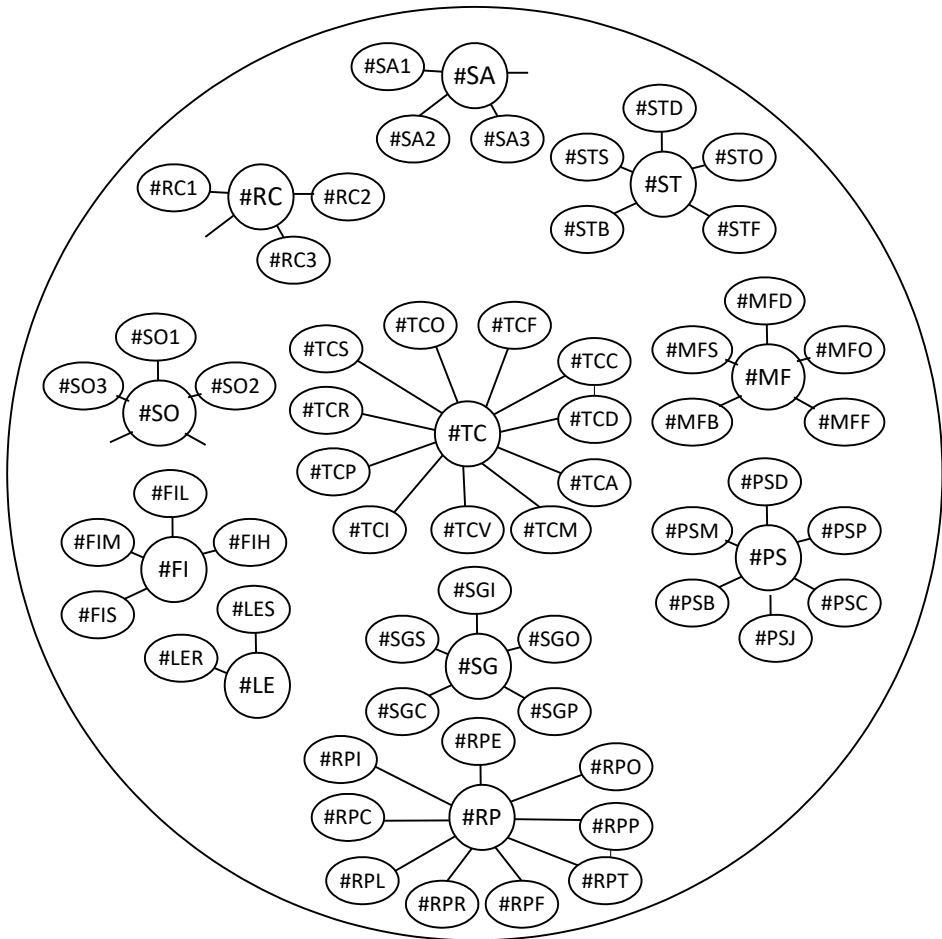


Рисунок 2 – Мапа світу оборонного планування на основі спроможностей

5) <SOLDIERY\_ORGANIZATION> (#SO) – складу та організаційної структури військ (сил), що складається з класів, які відповідають затвердженій структурі;

6) < MATERIEL\_FINANCIAL > (#MF) – ресурсів, що складається з класів: ОВТ (озброєння і військова техніка) (#MFA), обладнання (#MFE), МТЗ (матеріально-технічне забезпечення) (#MFM), витратні матеріали (#MFS), фінансові ресурси (#MFF);

7) < PERSONNEL> (#PS) – кадрового забезпечення, що складається з класів: керівний склад (#PSM), персонал підрозділів (#PSD), персонал частин (#PSP), персонал з'єднань (#PSJ), персонал органів військового управління (#PSB), цивільний персонал (#PSC);

8) < FACILITIES> (#FI) – військової інфраструктури, що складається з класів: логістичне забезпечення (#FIL), житлове забезпечення (#FIH), медичне забезпечення (#FIM), утримання запасів (#FIS);

9) < LEADERSHIP\_EDUCATION> (#LE) – військової освіти та науки, що складається з класів: наукові дослідження в інтересах оборони (#LES), науково-дослідна діяльність на створення нових видів (зразків) озброєння та військової техніки (#LER);

10) <SOCIAL\_TRAINING> (#SG) – соціальної та гуманітарної політики та роботи з особовим складом, що складається з класів: інформаційно-пропагандистське забезпечення (#SGI), психологічне забезпечення (#SGP), воєнно-соціальна робота (#SGS), культурно-виховна робота (#SGC), інформаційно-психологічна протидія (#SGO);

11) <RISKS> (#RP) – ризиків оборонного планування, що складається з класів: зовнішні (#RPE), внутрішні (#RPI), кадрові (#RPP), корупційні (#RPC), нормативно-правові (#RPL), операційно-технологічні (#RPO), програмно-технічні (#RPT), репутаційні (#RPR), фінансово-господарські (#RPF).

Поєднання цих таксономій в єдину онтологічну систему шляхом встановлення відношень між їх концептами утворює інформаційний простір, що має забезпечити експертам вичерпний і чіткий супровід їх діяльності щодо оцінки альтернатив на об'єктивній основі.

Виходячи з викладеного, можна зазначити, що включення онтологічних моделей до середовища прийняття рішень щодо оцінки спроможностей дозволяє досить ефективно застосовувати різні експертні методи, наприклад метод аналізу ієрархій, як систематичну процедуру для ієрархічного представлення і аналізу елементів, що визначають суть проблеми. При цьому обґрунтованість рішення повністю залежить від коректності й адекватності онтологічної моделі предметної області, а об'єктивність методу забезпечується фіксацією транзитивної погодженості експертних суджень, що виключає суб'єктивізм та підтримує принцип їх безсторонності і справедливості.

## Висновки

Таким чином, онтологічний підхід створює технологічні умови для побудови у сфері адміністративного управління знанне-орієнтованих систем, які забезпечують вирішення загальних проблем структуризації даних і знань на основі реалізації контекстної зв'язності понять предметної області та інтеграції даних, розподілених між різними БД. Це дозволяє забезпечити інформаційну і знаннєву підтримку роботи експертів в процесі підготовки прийняття рішень і послужити гарантією їх обґрунтованості та ефективності.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Новікова М.М. Конспект лекцій з дисципліни «Менеджмент і адміністрування (адміністративний менеджмент)». Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2016. 98 с.
2. Нестеренко О.В. Основи побудови автоматизованих інформаційно-аналітичних систем органів державної влади. Київ: Наукова думка. 2005. 628 с.
3. Стрижак О.Є., Приходнюк В.В., Гайко С.І., Шаповалов В.Б. Відображення мережевої інформації у вигляді інтерактивних документів. Трансдисциплінарний підхід. Математичне моделювання в економіці. 2018. № 3. С. 87-100.
4. Палагин А.В. Введение в класс трансдисциплинарных онтолого-управляемых систем исследовательского проектирования. УСиМ. 2016. № 6. С. 3-11.
5. Петров Э.Г., Новожилова М.В., Гребенник И.В., Соколова Н.А. Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах. Херсон: Олди-плюс. 2003. – 380 с.
6. Guarino N. Formal Ontology and Information Systems. In N. Guarino (ed.) Formal Ontology and Information Systems. Proceedings of FOIS'98. Trento, Italy. 1998. 6–8 June. IOS Press, Amsterdam. Pp. 3–15.

7. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
8. Палагин А.В., Яковлев Ю.С. Системная интеграция средств компьютерной техники. Винница: Універсум. 2005. 680 с.
9. Крывий С.Л. Формализованные онтологические модели в научных исследованиях. УСиМ. 2016. № 3. С. 4-15.
10. Литвин В.В. Базы знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2011. 240 с.
11. Палагин А.В., Величко В.Ю., Петренко Н.Г., Малахов К.С. К вопросу разработки онтолого-управляемой архитектуры интеллектуальной программной системы. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, Луганськ. № 13 (167). 2011. С. 1-6.
12. Сенченко В.Р., Бойченко О.А., Бойченко А.В. Дослідження методів і технологій інтеграції онтологічної моделі з реляційними даними. *Ресурсна, зберігання і обробка даних*. 2018. Т. 20. № 3. С. 91-101.
13. Рекомендації з оборонного планування на основі спроможностей в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України. URL: [http://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson\\_CBP\\_120617.pdf](http://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson_CBP_120617.pdf)

## REFERENCES

1. Novikova M. M. Konspekt lekcij z dyscypliny «Menedzhment i administruvannya (administratyvnyj menedzhment)». [Summary of lectures on discipline "Management and administration (administrative management)".]. Kharkiv: KHNMG im. O. M. Beketova. 2016. 98 s. (In Ukrainian).
2. Nesterenko O.V. Osnovy pobudovy avtomatyzovanykh informacijno-analitychnykh system organiv derzhavnoyi vlady. [Fundamentals of construction of automated information-analytical systems of state authorities.]. Kyiv: Naukova dumka. 2005. 628 s. (In Ukrainian).
3. Stryzhak O.Ye., Prykhodnyuk V.V., Gajko S.I., Shapovalov V.B. Vidobrazhennya mrezhevoyi informaciyi u vyglyadi interaktyvnykh dokumentiv. *Transdyscyplinarnyj pidkhid*. [Display of network information in the form of interactive documents. Transdisciplinary approach.]. *Matematyчне modelyuvannya v ekonomici*. 2018. # 3. S. 87-100. (In Ukrainian).
4. Palagin A.V. Vvedenie v klass transdistsiplinarnykh ontologo-upravlyaemykh sistem issledovatel'skogo proektirovaniya. [Introduction to the class of transdisciplinary ontology-driven research design systems.]. USiM. 2016. # 6. С. 3-11. (In Russian).
5. Petrov E.G., Novozhilova M.V., Grebennik I.V., Sokolova N.A. Metody i sredstva prinyatiya resheniy v sotsialno-ekonomicheskikh i tehniceskikh sistemah. [Methods and means of decision making in socio-economic and technical systems.]. Herson: Oldi-plyus. 2003. – 380 s. (In Russian).
6. Guarino N. Formal Ontology and Information Systems. In N. Guarino (ed.) *Formal Ontology and Information Systems*. Proceedings of FOIS'98. Trento, Italy. 1998. 6–8 June. IOS Press, Amsterdam. Pp. 3–15.
7. Gavrilova T.A., Horoshevskiy V.F. Bazyi znaniy intellektualnykh sistem. [Knowledge Base of Intelligent Systems.]. SPb.: Piter, 2001. – 384 s. (In Russian).
8. Palagin A.V., Yakovlev Yu.S. Sistemnaya integratsiya sredstv kompyuternoy tehniky. [System integration of computer hardware.]. Vinnitsa: Universum. 2005. 680 s. (In Russian).
9. Kryviyiy S.L. Formalizovannyye ontologicheskie modeli v nauchnykh issledovaniyah. [Formalized ontological models in scientific research.]. USiM. 2016. # 3. S. 4-15. (In Russian).
10. Lytvyn V.V. Bazy znan intelektualnykh sistem pidtrymky pryjnyattya rishen. [Knowledge bases of intellectual decision support systems.]. Lviv: Vydavnyctvo Lvivskoyi politekhniki. 2011. 240 s. (In Ukrainian).

11. Palagin A.V., Velichko V.Yu., Petrenko N.G., Malahov K.S. К вопросу разработки онтолого-управляемой архитектуры интеллектуальной программной системы. [On the development of an ontology-driven architecture of an intelligent software system.]. Visnyk Sxidnoukrayinskogo nacionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalya, Lugansk. # 13 (167). 2011. S. 1-6. (In Russian).
12. Senchenko V. R., Bojchenko O. A., Bojchenko A. V. Doslidzhennya metodiv i tekhnologij integraciyi ontologichnoyi modeli z relyacijnymy danymy. [Research of methods and technologies of integration of an ontological model with relational data.]. Reyestraciya, zberigannya i obrobka danykh. 2018. T. 20. # 3. S. 91-101. (In Ukrainian).
13. Rekomendaciyi z oboronnoho planuvannya na osnovi spromozhnostej v Ministerstvi oborony Ukrayiny ta Zbrojnykh Sylakh Ukrayiny. [Recommendations for Defense Planning on the basis of capabilities in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine.]. URL: [http://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson\\_CBP\\_120617.pdf](http://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson_CBP_120617.pdf). (In Ukrainian).

*Стаття надійшла до редакції 13.05.2019.*

## АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.942 ; 626/627 ; 504.05

<https://orcid.org/0000-0002-7620-1613>

**Д.В. СТЕФАНИШИН**

### ЛОГІКО-ІМОВІРНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙ НА НАПІРНИХ ГІДРОСПОРУДАХ ДНІСТРОВСЬКОГО ГІДРОВУЗЛА (ЧАСТИНА 1. МЕТОДОЛОГІЯ, ГІПОТЕЗИ ТА ПРИПУЩЕННЯ)

***Анотація.** Стаття є першою частиною комплексної роботи, присвяченої моделюванню і прогнозуванню гіпотетичних аварій, з оцінюванням ймовірностей їх виникнення, на гідропорудах, що формують напірний фронт Дністровського гідровузла. В цій частині обґрунтовано актуальність проблеми, розглянуто загальну постановку задачі досліджень, викладено методологію досліджень та сформульовано їх мету, окреслено прийняті гіпотези і припущення, дано коротку характеристику моделей, методів і підходів, що використовувалися при вирішенні поставленої задачі.*

***Ключові слова:** аварія, безпека, випадкова подія, дерево відмов і несправностей, Дністровський гідровузел, імовірність аварії, моделювання, надійність, напірні гідропоруди, об'єкт критичної інфраструктури, подія-припущення, прогнозування, сценарій, форма аварії.*

**DOI: 10.35350/2409-8876-2019-15-2-70-86**

#### **Вступ**

Дністровський гідровузел – один з найбільших в Україні гідровузлів. Розташований на р. Дністер, в її середній течії, на південному заході країни [1]. Основні гідропоруди гідровузла знаходяться біля м. Новодністровськ, обласного підпорядкування, Чернівецької області. Гідровузел є верхньою сходинкою Дністровського гідроенергетичного комплексу (рис. 1), в який входять дві гідроелектростанції (ГЕС) (Дністровська ГЕС-1, потужністю 702 МВт, у складі власне Дністровського гідровузла (рис. 2), і Дністровська ГЕС-2, потужністю 40,8 МВт, у складі розташованого вниз за течією річки буферного гідровузла) та Дністровська гідроаккумуляційна електростанція (ГАЕС), найпотужніша в країні ГАЕС, потужність якої в турбінному режимі наразі становить 973 МВт, а після введення в експлуатацію всіх запланованих семи агрегатів має досягти 2268 МВт.

© Д.В. Стефанишин, 2019

Будівельні роботи на основних гідропорадах Дністровського гідровузла розпочалися в 1975 р. В кінці 1981 р. було введено в експлуатацію перші два агрегати на Дністровській ГЕС-1, а в 1983 р. – останні п'ятий і шостий гідроагрегати. В 1987 р. напірні гідропороди гідровузла було зведено до проектних відміток та здійснено перше заповнення водосховища до нормального підпірного рівня (НПР) [1]. Довжина водосховища Дністровського гідровузла при НПР сягає 194 км, площа дзеркала – 142 км<sup>2</sup>, повний об'єм – 3 млрд м<sup>3</sup>, в тому числі корисний – 2,0 млрд м<sup>3</sup>.

Гідровузол має комплексне призначення. Основна його функція – гідроенергетика. Іншими важливими функціями Дністровського гідровузла є також захист населених пунктів вниз за течією від руйнівних дій паводків, водопостачання населення і промисловості та іригація.



Рисунок 1 – Дністровський гідроенергетичний комплекс (з карт Google earth)



Рисунок 2 – Дністровський гідровузол

Основними напірними гідропорудами Дністровського гідровузла є суміщена з поверхневим водозливом будівля ГЕС, будівельною висотою 80 м, та дві кам'яно-земляні греблі – правобережна, максимальною висотою 47,5 м і лівобережна, максимальною висотою 59,0 м. Суміщена з водозливом будівля ГЕС, з водозливами над машинним залом, є унікальною гідропородою руслового типу, яка сприймає напір до 55 м, який є значно більшим, ніж, наприклад, максимальний напір в 38,4 м на пригреблевих Дніпровських ГЕС-1 і ГЕС-2. Така конструкція будівлі ГЕС дозволила відмовитись від будівництва окремої водозливної греблі у складі напірного фронту гідровузла. При 12 водозливних отворах перерізом 7,5×16,5 м і 6 працюючих агрегатах будівля ГЕС, суміщена з водозливом, здатна пропустити витрату 13260 м<sup>3</sup>/с щорічною імовірністю перевищення 0,01%.

Загальна довжина напірних гідропоруд гідровузла по гребеню становить 1100 м, у тому числі: правобережна земляна гребля – 270 м; монтажний майданчик – 73 м; будівля ГЕС, суміщена з водозливом – 153 м; лівобережна земляна гребля – 620 м.

Згідно з чинними будівельними нормами (ДБН В.2.4-3:2010 [2]) напірні гідропоруоди Дністровського гідровузла відносяться до найвищого класу відповідальності за наслідками – класу СС3. Для обґрунтування надійності і безпеки гідропоруд цього класу чинними нормами [2] допускається порядок з традиційними розрахунками їх стійкості, міцності тощо методом граничних станів в межах детерміністичного підходу здійснювати оцінювання їх надійності і безпеки і на основі імовірнісного підходу згідно з критерієм:

$$P(A) \leq [P(A)], \quad (1)$$

де  $P(A)$  – розрахункове значення щорічної ймовірності аварії як випадкової події на напірній гідропоруді;  $[P(A)]$  – допустиме значення ймовірності аварії як випадкової події на напірній гідропоруді відповідного класу за наслідками (відповідальністю), рік<sup>-1</sup>.

Хоча оцінювання надійності напірних гідропоруд на основі критерію (1) не є обов'язковим, воно може бути корисним в контексті порівняння за надійністю і безпекою окремих гідропоруд Дністровського гідровузла, що формують його напірний фронт, та з іншими напірними гідропорудами подібного класу відповідальності за наслідками, що експлуатуються в країні. Ці оцінки можуть також бути використані при аналізі та оцінюванні ризику аварій на гідровузлі з врахуванням як ймовірностей відповідних аварійних подій, так і їх наслідків, та прийнятті рішень щодо підвищення надійності і безпеки напірних гідропоруд гідровузла при експлуатації.

## 1. Загальний огляд проблеми

Дністровський гідровузол є важливим об'єктом національної критичної інфраструктури [3–6] і водночас потенційно небезпечним об'єктом [7–11], на якому можуть виникати аварії й надзвичайні ситуації з катастрофічними економічними, екологічними та соціальними наслідками.

Історія свідчить, що аварії на напірних гідропорудах є достатньо ймовірними подіями в порівнянні з іншими техногенними катастрофами, що

відбувалися в світі. Катастрофічні аварії на напірних гідропорадах різного типу і призначення та з самих різноманітних причин відбувалися як в минулому, так і не можуть бути повністю виключеними і в майбутньому, незважаючи на існуючу тенденцію поступового зменшення ймовірності настання таких аварій з часом [10–13]. Від аварій на напірних гідропорадах не застрахована жодна країна і жодний об'єкт. Відсутність дотепер серйозних аварій на вітчизняних гідровузлах, особливо на великих, до яких відносяться і напірні гідропоруди Дністровського гідровузла, не повинна заспокоювати вітчизняних вчених, інженерів та посадовців. Вітчизняні гідропоруди нічим особливим в контексті регулювання, забезпечення та підтримування надійності і безпеки не відрізняються від гідропоруд, що будуються і експлуатуються в світі [11]. Тому можливість аварій на вітчизняних напірних гідропорадах повністю теж виключити неможливо, незалежно від того, відбувалися подібні аварії в країні раніше, чи ні.

Слід зважати також на те, що більшість вітчизняних гідровузлів, в тому числі і Дністровський гідровузол, розміщені на рівнинних ріках. Їх нижні б'єфи, території вниз за течією, на які в першу чергу можуть поширюватися аварійні впливи при руйнуванні напірних гідропоруд (хвилі прориву при так званих гідродинамічних аваріях [7–11]), охоплюють урбанізовані та добре освоєні в сільськогосподарському та промисловому відношенні території. Долини цих рік насичені різного роду інфраструктурними об'єктами, в тому числі і об'єктами критичної інфраструктури. З врахуванням того, що масштаби урбанізації, природокористування в межах прирічкових територій з часом лише зростатимуть, то, відповідно, очікується і збільшення катастрофічності можливих аварій на напірних гідропорадах – через значну щільність населення та наявність соціально-економічної інфраструктури в зонах потенційних аварійних впливів (затоплень, підтоплень тощо).

Практика показує, що аварії можуть виникати і на сучасних, відносно недавно побудованих гідропорадах, та з причин, з яких раніше вони ще не відбувалися і до яких інженери можуть бути неготовими [14]. Хоча Дністровський гідровузол є наймолодшим серед найбільших гідровузлів країни, це також не є якоюсь додатковою перешкодою для виникнення на ньому аварій. Аварії на напірних гідропорадах відбувалися в різні періоди їх служби [10–13]: відносно часто – ще при будівництві, першому наповненні водосховища і протягом перших 5-20 років від початку експлуатації (в межах так званого періоду «припрацювання»); дещо рідше – під час тривалої «нормальної» експлуатації в 30-50 років після «припрацювання»; і знову частіше – в період поступового старіння гідропоруд. Все це обумовлює актуальність прогнозування гіпотетичних аварій на напірних гідропорадах незалежно від того, в якому стані (справному чи несправному) вони наразі знаходяться і який період часу вони вже експлуатуються.

Проблема аварійності технічних об'єктів і систем, імовірного прогнозування техногенних аварій вивчається вже давно. Важливі теоретичні та практичні рішення, що стосуються аналізу і оцінювання надійності і безпеки складних технічних об'єктів та систем, в тому числі і напірних гідропоруд різного типу та призначення, імовірнісними методами, наведено, наприклад, в роботах [8, 11, 12, 14–36]. В різній мірі, на різних етапах досліджень, ці методи приймалися нами до уваги при прогнозуванні аварій з оцінюванням ймовірностей їх виникнення на напірних гідропорадах Дністровського гідровузла.



## 2. Загальна постановка задачі та мета досліджень

Доцільність імовірнісних прогнозів, імовірнісних розрахунків напірних гідроспоруд на надійність з оцінкою ймовірностей виникнення аварій на них обумовлюється наступними основними причинами [4, 10, 11, 24, 26–30, 35]: 1) різноманіттям потенційно можливих чинників аварійності, мінливістю та невизначеністю даних про стан гідроспоруд, їх конструкцій, конструктивних елементів, основ, різного роду пристроїв в тілі споруд та в основах; про параметри навантажень і впливів, характеристики властивостей матеріалів конструкцій, ґрунтів основ; про показники надійності устаткованого на гідроспорудах обладнання, устаткування тощо; 2) особливостями структури, організації та взаємодії з навколишнім середовищем гідроспоруд як складних синергетичних систем з невизначеною поведінкою.

Оцінювання надійності і безпеки напірних гідроспоруд гідровузлів за критерієм (1) може мати й практичну перевагу над оцінюванням надійності гідроспоруд згідно з традиційним методом граничних станів в межах детерміністичного підходу. Це пов'язано з тим, що імовірності аварій на гідроспорудах в тій чи іншій мірі завжди є агрегованими (узагальненими) за різними подіями, станами, сполученнями навантажень тощо оцінками надійності й безпеки, тоді як в методі граничних станів агрегація оцінок надійності за різними критеріями, сполученнями навантажень тощо є принципово неможливою. При цьому, при виконанні умови (1) при оцінюванні надійності й безпеки гідроспоруди за певним типом або видом аварії, вибраних в якості проектної аварії  $A_p$  на цій гідроспоруді (наприклад, аварії на греблі з проривом напірного фронту), ймовірністю  $P(A_p)$ , значення якої було відповідним чином агреговане (узагальнене) за різними  $i$ -ми формами або ж сценаріями аварії (зсув, перекидання, внутрішня ерозія, перелив води через гребінь тощо)  $A_{p,i}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , при різних сполученнях навантажень, де  $n$  – загальна кількість форм (сценаріїв) можливої аварії на гідроспоруді, що враховуються при оцінюванні її надійності і безпеки, ймовірність будь-якої з  $i$ -х форм  $A_{p,i}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , за якими здійснюється узагальнення (агрегація)  $P(A_p)$ , завжди буде:

$$P(A_{p,i}) < P(A_p). \quad (2)$$

Тобто при виконанні умови (1) гарантується нормативна надійність і безпека гідроспоруди за всіма розрахунковими формами  $A_{p,i}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , аварії  $A_p$ , вибраної в якості проектної, і, відповідно, за всіма граничними станами, що, наприклад, цим формам аварії відповідають.

В той же час виконання умови (2) для кожної з  $i$ -х форм  $A_{p,i}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , аварії на гідроспоруді ще не гарантує виконання умови (1). Це означає, що при оцінці надійності і безпеки гідроспоруди за методом граничних станів навіть у випадку її повної відповідності нормам, тобто за умови, що гідроспоруда успішно пройшла перевірку на всі регламентовані нормами граничні стани, її надійність і безпека в цілому можуть бути і не гарантовані. Особливо це стосується гідровузлів, напірний фронт яких формується кількома гідроспорудами різного типу й призначення.

Метою досліджень згідно з поставленою задачею є логіко-імовірнісне моделювання і прогнозування аварій на напірних гідропоруках Дністровського гідровузла з оцінюванням ймовірностей їх виникнення та перевірка надійності і безпеки окремих гідропоруд і гідровузла в цілому на основі імовірнісного підходу за критерієм (1). Для реалізації мети досліджень використовувалися: методи системно-структурного та абстрактно-логічного аналізу причин можливих аварій на гідропоруках гідровузла; методи системного аналізу причинно-наслідкових відношень, методи і підходи теорії ймовірностей та математичної статистики, математичної теорії надійності і теорії ризику; методи математичної логіки та теорії прийняття рішень, а також метод рандомізації результатів традиційних розрахунків стійкості і міцності гідропоруд. В якості основного методу, згідно з яким здійснювалась агрегація (синтез) ймовірностей виникнення різних аварійних подій на гідропоруках гідровузла, використовувався логіко-імовірнісний метод дерев відмов і несправностей. Вибір перерахованих вище методів спрямовувався на забезпечення адекватності моделювання і прогнозування аварій на гідропоруках гідровузла та достовірності отриманих результатів.

### **3. Методологія досліджень: підходи, методи, моделі**

#### **3.1. Деякі принципи зауваження, прийняті гіпотези та припущення**

Вибір та моделювання гіпотетичних форм аварій на напірних гідропоруках гідровузла, відмов і несправностей їх конструкцій, основ, конструктивних елементів, пристроїв, устаткування, обладнання та причин їх виникнення здійснювалися з врахуванням індивідуальних особливостей гідропоруд (типу, конструкції, умов експлуатації, взаємодії з іншими гідропоруками гідровузла тощо) та згідно із загальними рекомендаціями Міжнародної комісії з великих гребель (ICOLD) [27, 30]. При оцінюванні ймовірностей окремих аварійних подій використовувалися також статистичні дані аварійності гідропоруд [10, 12, 13, 28, 36]. В усіх випадках приймалася гіпотеза про стохастичну незалежність прийнятих форм аварії.

При оцінюванні ймовірностей порушення стійкості та міцності напірних гідропоруд гідровузла використовувався математичний апарат випадкових величин та їх функцій (фактор часу в явному вигляді не враховувався) з рандомізацією результатів розрахунків гідропоруд методом граничних станів, який регламентується чинними нормами проектування. Для врахування фактору часу розглядалися різні розрахункові (модельні) ситуації (аналогічні сполученням навантажень в методі граничних станів), ймовірності реалізації яких встановлювалися в залежності від тривалості навантажень тощо. Це дозволило суттєво спростити задачі оцінювання ймовірностей виникнення базових (початкових, елементарних) аварійних подій, здатних ініціювати аварійні процеси на гідропоруках.

На всіх етапах імовірнісного прогнозування аварійних подій і станів на гідропоруках гідровузла, у відповідності з аксіомами теорії ймовірностей, формувалися повні групи подій за факторами, що визначають умови роботи гідропоруд (сполученнями навантажень, небезпеками, впливами, відмовами, несправностями тощо). При цьому відповідні події-умови, з яких склалися

повні групи подій, встановлювалися, а їх ймовірності визначалися, виходячи з припущення, що розвиток аварії на гідропоруді відбувається у випадку перевищення деякого узагальненого силового впливу при відповідному сполученні навантажень протягом заданого періоду часу.

З метою структуризації задачі при розкритті складних аварійних подій та ідентифікації причинно-наслідкових зв'язків між подіями-причинами і подіями-наслідками поряд з формальними методами системного аналізу, аналітичними та логічними методами математичної теорії надійності використовувалися і евристичні методи дослідження аварійних подій [10, 25] з врахуванням результатів аналізу можливих причин аварій, що відбувалися на подібних гідропоруддах в минулому [10–14, 24, 27–30, 36]. При цьому експертні (суб'єктивні) оцінки ймовірностей для аварійних подій-припущень допускалися лише щодо тих аварійних подій, ймовірності яких, за наявних даних, принципово неможливо було встановити методами математичної статистики і теорії ймовірностей, методами математичної теорії надійності і математичної логіки.

При необхідності врахування кількох незалежних, сумісних чи несумісних, сценаріїв розвитку аварійних подій на гідропоруддах гідровузла, кожен з яких одноосібно може призвести до виникнення тієї чи іншої гіпотетичної форми аварії на окремій гідропоруді або на гідровузлі в цілому, та за відсутності даних, які б дозволяли надійно зняти невизначеність щодо ймовірності реалізації кожного з цих сценаріїв в групі аварійних подій, використовувався принцип Бернуллі-Лапласа (принцип недостатніх підстав), згідно з яким всі потенційно можливі сценарії в такій групі подій приймалися однаково ймовірними гіпотезами.

Якщо серед можливих причин аварії на гідропоруді, представлених у вигляді послідовностей подій у вигляді сполучень навантажень та впливів, комбінацій різних порушень, відмов і несправностей, що можуть окремо чи в сукупності призвести до аварії, знаходилась одна спільна причина їх реалізації (паводок, землетрус тощо), використовувався принцип дії «спільної причини» [23], згідно з яким узагальнена безумовна ймовірність аварії з врахуванням всіх таких подій не може перевищити ймовірності реалізації цієї спільної причини [14]. При цьому покладалось, що в результаті множинних аварійних подій та станів на гідропоруді або гідровузлі в цілому, які виникають внаслідок спільної причини, одночасно можуть зніщуватися різні форми аварії. Всі ці форми аварії об'єднувалися в один модельний сценарій аварії внаслідок реалізації відповідної «спільної причини».

Такий підхід дозволяє отримати ефективні верхні граничні (sup) оцінки ймовірностей аварійних подій-наслідків, які апріорі, за визначених умов, не можуть бути перевищені на кожному з етапів імовірнісних розрахунків і агрегації аварійних подій за імовірністю. Зокрема, при узагальненні альтернативних сценаріїв розвитку аварійних подій, опосередковано, можуть враховуватися аварійні події і стани, що мають спільну причину виникнення й призводять до однієї й тієї ж події-наслідку. При цьому зникає небезпека недоврахування при оцінюванні ймовірностей аварійних подій і станів на гідропоруддах гідровузла тих поєднань подій і станів, сполучень навантажень і впливів, а також різного роду причинно-наслідкових відгалужень в загальній структурі відповідного узагальненого сценарію виникнення й розвитку аварії на гідропоруді або гідровузлі в цілому, значимість яких наразі може, з тих чи інших причин, недооцінюватися.

При імовірнісному моделюванні більшості розрахункових параметрів та характеристик (коефіцієнтів стійкості, міцності тощо), що визначають стан напірних гідроспоруд гідровузла, їх конструкцій та основ при заданому сполученні навантажень і впливів (за певної умови експлуатації чи ситуації тощо), використовувалася гіпотеза про нормальний закон їх розподілу як випадкових величин. Ймовірності перевищення максимальних витрат води встановлювалися за проектними даними згідно з трьох-параметричним гамма-розподілом Крицького-Менкеля. Моделювання діючих градієнтів напору в ядрах кам'яно-земляних гребель та в цементацийних завісах в основах гідроспоруд здійснювалось за допомогою логарифмічно нормального закону розподілу ймовірності (рис. 3). Для оцінки параметрів розподілу діючих градієнтів напору використовувалися натурні дані про хід рівнів води в б'єфах з 08.01.1991 р. по 23.12.1998 р., що реєструвалися кожні 3-5 днів. Зокрема, було встановлено, що вибірки значень актуальних градієнтів напору мають від'ємну асиметрію і достатньо добре узгоджуються з логарифмічно-нормальним законом розподілу ймовірності.

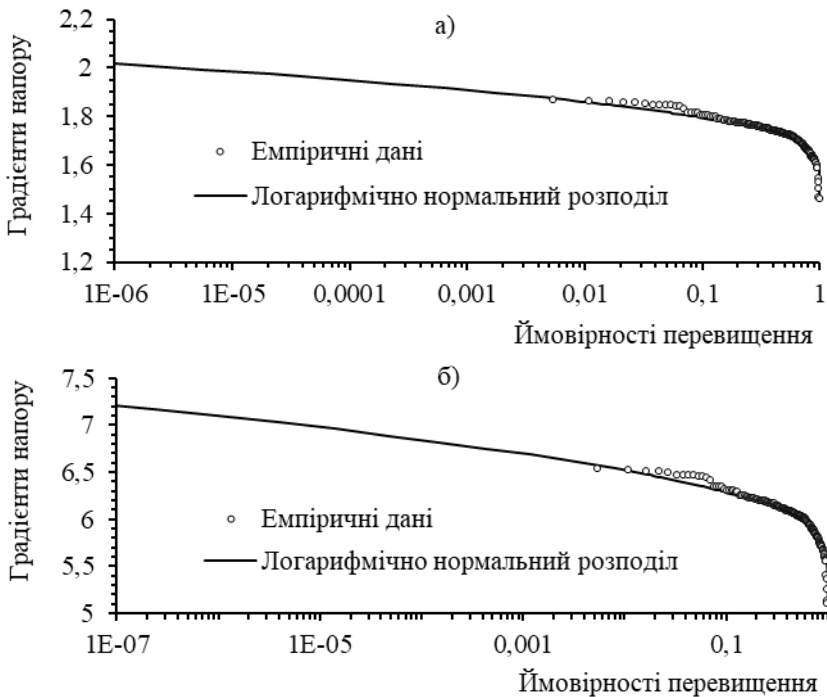


Рисунок 3 – Імовірнісне моделювання діючих градієнтів напору в ядрі (а) та на цементацийній завісі в основі (б) лівобережної кам'яно-земляної греблі Дністровського гідровузла, визначених при рівнях води у верхньому б'єфі, що не перевищують форсованого підпірного рівня, та сейсмічних впливах, що не перевищують впливи від максимального розрахункового землетрусу

### 3.2. Основні положення методу дерев відмов і несправностей

Логіко-імовірнісне моделювання та прогнозування аварій на гідропоруках Дністровського гідровузла з оцінюванням їх ймовірностей здійснювалось графоаналітичним методом дерев відмов і несправностей. В літературі цей метод також відомий як метод помилок чи метод несправностей. Основні положення методу викладено в [10, 11, 25, 27, 28, 30].

Розрахунковою моделлю методу дерев відмов і несправностей є граф-дерево без циклів, вершиною якого є деяка результуюча (головна) аварійна подія-наслідок; множиною елементів – визначена зліченна множина подій-причин виникнення аварійної події-наслідку, а множиною відповідностей – відносини між ними.

Побудова діаграми дерева відмов і несправностей ґрунтується на дедуктивній логіці з розкриттям та аналізом можливих подій-причин виникнення головної аварійної події-наслідку в системі. При моделюванні використовуються спеціальні конструктивні елементи: символи-події та символи-оператори (логічні оператори) [11, 14]. За допомогою символів-подій відображаються різні події, які визначають виникнення і перебіг аварії на гідропоруді, – в залежності від їх виду, характеру взаємодії, ієрархії, причинно-наслідкових відношень тощо. Зазвичай деякі початкові (їх ще називають базовими або елементарними) аварійні події, що здатні ініціювати аварійні процеси в системі, прийнято показувати колами; події-наслідки – прямокутниками; події-умови – заокругленими прямокутниками; нерозкриті події – ромбами. Логічними операторами відображається логіка причинно-наслідкових зв'язків між різними аварійними подіями, і згідно з ними (в залежності від логіки цих причинно-наслідкових зв'язків) за відомими ймовірностями подій-причин розраховуються ймовірності подій-наслідків. Графічне зображення логічних операторів принципового значення не має.

При дослідженнях використовувалися наступні логічні оператори та формули для визначення ймовірностей подій-наслідків.

Логічний оператор «АБО» – коли подія-наслідок відбувається з будь-якої з подій-причин, що можуть ініціювати цю подію-наслідок; відповідає логічній операції «диз'юнкція»; ймовірність  $P(A)$  події-наслідку  $A$ :

$$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(B_i)), \quad (3)$$

де  $n$  – загальна кількість  $i$ -х довільних незалежних сумісних подій-причин  $B_i$ ;  $P(B_i)$  – ймовірність  $i$ -ї події-причини  $B_i$ .

Логічний оператор «І» – у випадках, коли подія-наслідок має місце при одночасній реалізації всіх вхідних подій-причин; відповідає логічній операції «кон'юнкція»; ймовірність  $P(A)$  події-наслідку  $A$ :

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(B_i), \quad (4)$$

де  $n$  – загальна кількість  $i$ -х довільних незалежних подій-причин  $B_i$ ;  $P(B_i)$  – ймовірність  $i$ -ї події-причини  $B_i$ .

Логічний оператор «ВИКЛЮЧНЕ АБО» – у випадках, коли подія-наслідок має місце в результаті реалізації будь-якої з вхідних несумісних подій-причин, що формують повну групу подій; відповідає логічній операції «виключна диз'юнкція»; ймовірність  $P(A)$  події-наслідку  $A$ :

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(B_i), \quad (5)$$

де  $n$  – загальна кількість  $i$ -х несумісних подій-причин  $B_i$ ;  $P(B_i)$  – ймовірність  $i$ -ї події-причини  $B_i$ .

Логічний оператор «ЗАБОРОНА» – для моделювання ситуації, коли поява події-наслідку пов'язується з деякою умовою при реалізації вхідної події-причини; при цьому ця подія-умова блокує (забороняє) появу події-наслідку, зменшуючи таким чином її ймовірність; відповідає логічній операції «імплікація»; ймовірність  $P(A)$  події наслідку  $A$ :

$$P(A) = P(B) \cdot P(C), \quad (6)$$

де  $P(B)$  – ймовірність події-причини  $B$ ;  $P(C)$  – ймовірність події-умови  $C$ .

Логічний оператор «ЧАСТКОВА ЗАБОРОНА» – у випадках, коли подія-наслідок пов'язується з деякою додатковою умовою при можливості реалізації двох вхідних несумісних подій-причин; при цьому відповідна подія-умова блокує появу події-наслідку, зменшуючи її ймовірність, лише при реалізації однієї з подій-причин; ймовірність  $P(A)$  події наслідку  $A$ :

$$P(A) = P(B_1) \cdot P(C) + P(B_2) \cdot (1 - P(C)), \quad (7)$$

де  $P(B_1)$ ,  $P(B_2)$  – ймовірності реалізації подій-причин  $B_1$ ,  $B_2$ ;  $P(C)$  – ймовірність події-умови  $C$ .

Логічний оператор «М з N», який об'єднує  $n$  подій-причин та подію-наслідок, яка виникає тоді, коли реалізується не менш як  $m$  подій-причин; ймовірність  $P(A)$  події наслідку  $A$ :

$$P(A) = P(A)_m + P(A)_{m+1} + \dots + P(A)_n, \quad (8)$$

де ймовірності  $P(A)_m$ ,  $P(A)_{m+1}$ ,  $P(A)_n$ , при  $P(B_i) = P(B)$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $m < n$ :

$$P(A)_m = \left(1 - (1 - P(B))^n\right) \cdot \left(1 - (1 - P(B))^{n-1}\right) \cdot \dots \cdot \left(1 - (1 - P(B))^{n-m+1}\right);$$

$$P(A)_{m+1} = P(A)_m \cdot \left(1 - (1 - P(B))^{n-m}\right); \dots; P(A)_n = P(B)^n, \quad (9).$$

де  $n$  – загальна кількість  $i$ -х несумісних подій-причин  $B_i$ ;  $P(B_i)$  – ймовірність  $i$ -ї події-причини  $B_i$ .

### 3.3. Рандомізація результатів розрахунків гідроспоруд згідно з методом граничних станів

Нехай  $k_{p,s,C}$  – деяке розрахункове значення, забезпеченістю  $p$ , коефіцієнта стійкості (міцності, в тому числі і фільтраційної тощо)  $k_s$  гідроспоруди (її конструкції, основи, конструктивного елемента тощо), яке було отримано за результатами розрахунків відповідного об'єкта в межах детерміністичного підходу згідно з методом граничних станів при деякому сполученні навантажень (за умови, ситуації тощо)  $C$ .

Сполучення навантажень (умова, ситуація)  $C$  може розглядатися як умовний переріз деякого випадкового процесу  $k_s(t)$ , що, в загальному випадку, є випадковою функцією часу [17, 22].

Нехай  $k_{s,C}$  як випадкова величина підкоряється нормальному закону розподілу. Тоді, відновлення математичного сподівання (середнього)  $m(k_{s,C})$  та середнього квадратичного відхилення (стандарту)  $s(k_{s,C})$  випадкової величини  $k_{s,C}$  можна виконати за формулами:

$$m(k_{s,C}) = k_{p,s,C} - u_p \cdot s(k_{s,C}), \quad (10)$$

$$s(k_{s,C}) = \frac{k_{p,s,C}}{u_p + \frac{1}{C_v(k_{s,C})}}, \quad (11)$$

де  $u_p$  – квантиль значення випадкової величини забезпеченістю  $p$  (при  $p = 95\%$ , наприклад,  $u_p = -1,645$ ; при  $p = 80\%$ ,  $u_p = -0,842$ ; при  $p = 50\%$ ,  $u_p = 0$ );  $C_v(k_{s,C})$  – коефіцієнт варіації  $k_{s,C}$  як випадкової величини при сполученні навантажень  $C$ .

Зазвичай, при проектуванні гідроспоруд, забезпеченість розрахункових значень відповідних характеристик приймається рівною 95% (для першої групи граничних станів) та 50% (для другої групи граничних станів).

Коефіцієнт варіації  $C_v(k_{s,C})$  можна отримати за наступною формулою:

$$C_v(k_{s,C}) = [C_v^2(R_C) + C_v^2(N_C) - 2C_v(R_C) \cdot C_v(N_C) \cdot \rho(R_C, N_C)]^{-0,5}, \quad (12)$$

де  $C_v(R_C)$ ,  $C_v(N_C)$  – коефіцієнти варіації узагальненої несучої здатності  $R_C$  та узагальненого силового впливу  $N_C$  при сполученні навантажень  $C$ , за якими, відповідно, визначається  $k_{s,C}$ ;  $\rho(R_C, N_C)$  – коефіцієнт кореляції випадкових величин  $R_C$  та  $N_C$ , відповідно.

Якщо випадкові величини  $R_C$  та  $N_C$  є стохастично незалежними величинами ( $\rho(R_C, N_C) \sim 0$ ), то

$$C_v(k_{s,C}) = \sqrt{C_v^2(R_C) + C_v^2(N_C)}. \quad (13)$$

Коефіцієнти варіації узагальненої несучої здатності  $R_C$  та узагальненого силового впливу  $N_C$  можна оцінити за формулами:

$$C_v(R_C) = \sqrt{\sum_i w^2(\xi_{i,R_C}) C_v^2(\xi_{i,R_C})}, \quad (14)$$

$$C_v(N_C) = \sqrt{\sum_j w^2(\xi_{j,N_C}) C_v^2(\xi_{j,N_C})}, \quad (15)$$

де  $C_v(\xi_{i,R_C})$ ,  $C_v(\xi_{j,N_C})$  – коефіцієнти варіації, відповідно,  $i$ -х показників та характеристик, що визначають узагальнену несучу здатність  $R_C$ , та  $j$ -х параметрів, що визначають узагальнений силовий вплив  $N_C$ , при сполученні навантажень  $C$ ;  $w(\xi_{i,R_C})$ ,  $w(\xi_{j,N_C})$  – «вагові» коефіцієнти, що враховують відносний вплив  $\xi_{i,R_C}$ ,  $\xi_{j,N_C}$  на  $R_C$  і  $N_C$  і характеризують «дольові» внески кожного з параметрів  $\xi_{i,R_C}$ ,  $\xi_{j,N_C}$  в значення  $k_{s,C}$  як випадкової величини, вираженої функцією відповідних випадкових аргументів:

$$w(\xi_{j,R_C}) = \frac{\partial k_{s,C}}{\partial \xi_{j,R_C}}, \quad w(\xi_{j,N_C}) = \frac{\partial k_{s,C}}{\partial \xi_{j,N_C}}, \quad (16)$$

де  $\frac{\partial k_{s,C}}{\partial \xi_{i,R_C}}$ ,  $\frac{\partial k_{s,C}}{\partial \xi_{j,N_C}}$  – частинні похідні функції  $k_{s,C}$  (рівняння зв'язку) за аргументами  $\xi_{i,R_C}$ ,  $\xi_{j,N_C}$ .

Складові формул (12–16) підбираються в залежності від аргументів рівняння зв'язку, за яким визначається коефіцієнт  $k_{s,C}$  при розрахунках стійкості або міцності гідроспороди відповідного об'єкта в межах детерміністичного підходу згідно з методом граничних станів при деякому сполученні навантажень (за умови, ситуації тощо)  $C$ . При дослідженнях стохастична мінливість параметрів навантажень і впливів, показників властивостей бетону, ґрунтів тіла земляних гідроспоруд, скельних і нескельних ґрунтів основ гідроспоруд приймалася на рівні максимально припустимих значень (із запасом за ризиком), визначених з врахуванням досвіду проектування, будівництва та експлуатації гідроспоруд різного типу і на різних основах. Відповідні дані наведено в [10, 28].



## Висновок

Запропонована стаття є першою частиною комплексної роботи, яка присвячена моделюванню і прогнозуванню гіпотетичних аварій, з оцінюванням ймовірностей їх виникнення, на гідропорудах, що формують напірний фронт Дністровського гідровузла. В цій частині обґрунтовано актуальність проблеми досліджень в контексті забезпечення надійності і безпеки Дністровського гідровузла як одного з важливих об'єктів національної критичної інфраструктури, який водночас є і потенційно небезпечним об'єктом, на якому можуть виникати аварії й надзвичайні ситуації з катастрофічними економічними, екологічними та соціальними наслідками. Розглянуто постановку задачі досліджень, сформульовано мету та викладено методологію досліджень, проаналізовано прийняті гіпотези та припущення, дано коротку характеристику моделей, методів і підходів, що використовувалися при вирішенні поставленої задачі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дністровська ГЕС. URL : [https://uhe.gov.ua/filiyi/dnistrovska\\_hes](https://uhe.gov.ua/filiyi/dnistrovska_hes).
2. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. 37 с.
3. Об'єкти критичної інфраструктури та об'єкти критичної інформаційної інфраструктури в європейських країнах. Інформаційна довідка, підготовлена ЄІДЦ на запит Апарату ВР України. URL : <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29297.pdf>.
4. Стефанишин Д.В., Трофимчук О.М. Методологічні підходи до оцінки та врахування ризику в задачах забезпечення надійності і безпеки гребель. Концепція захисту критичної інфраструктури: Стан, проблеми та перспективи її впровадження в Україні. Зб. Матеріалів міжнародної наук.-практичної конференції (7-8 листопада 2013 р., Київ-Вишгород). НІСД. Серія «Національна безпека». Вип. 5. Київ : 2014. С. 88-98.
5. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні : зб. мат-лів міжнар. експерт. нарад / упоряд. Д.С. Бірюков, С.І. Кондратов; за заг. ред. О.М. Суходолі. Київ : НІСД, 2015. 176 с.
6. Концепція створення державної системи захисту критичної інфраструктури. Схвалено розпорядженням КМУ від 6 грудня 2017 р. № 1009-р. URL : <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/pro-shvalennya-koncepciyi-stvorenniya-derzhavnoyi-sistemi-zahistu-kritichnoyi-infrastrukturi>.
7. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів. Затверджена наказом МНС України від 23.02.2006 р. за № 98. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 20.03.2006 р. за № 286/12160. URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0286-06>.
8. Закон України «Про об'єкти підвищеної безпеки». Відомості ВРУ. 2001. № 15. Ст. 73. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14>.
9. Ivashintsov D.A., Stefanishin D.V., Veksler A.B. Ecological and sociodemographic consequences of hydrotechnical construction (Problems of safety and risk). Power Technology and Engineering (formerly Hydrotechnical Construction). 1993. Vol. 27. Num. 12. P. 685-691.
10. Векслер А.Б., Ивашинцев Д.А., Стефанишин Д.В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. С.-Петербург : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2002. 591 с.
11. Стефанишин Д.В. Прогнозування аварій на греблях в задачах оцінки й забезпечення їх надійності та безпеки. Гідроенергетика України. № 3-4. 2011. С. 52-60.
12. ICOLD Bulletin 99. Dam Failures: Statistical Analysis. ICOLD. Bulletin No. 99. Paris, 1995.

13. Стефанишин Д.В. Прогнозирование аварийности проектируемых и строящихся плотин на основе результатов статистического анализа произошедших аварий. Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. 2008. Т. 251. С. 3-9.
14. Романчук К.Г., Стефанишин Д.В. Імовірнісне моделювання сценаріїв двох нетипових аварій на гідроенергетичних об'єктах. Гідроенергетика України. № 2-3. 2014. С. 20-25.
15. Ермолаев Н.Н., Михеев В.В. Надежность оснований сооружений. Ленинград : Стройиздат, 1976. 152 с.
16. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. Москва : Стройиздат, 1978. 239 с.
17. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Москва : Стройиздат, 1981. 351 с.
18. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. Пер. с англ. Москва : Наука, 1984. 328 с.
19. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. Москва : Стройиздат, 1986. 190 с.
20. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др. Т. 2.: Математические методы в теории надежности и эффективности [Под ред. Б.В. Гнеденко]. Москва : Машиностроение, 1987. 280 с.
21. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании [Пер. с англ. Ю.Д. Сухова]. Москва : Стройиздат, 1988. 584 с.
22. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. Москва : Машиностроение, 1990. 448 с.
23. Ибрагимов М.Х., Данилова Н.А., Рачков В.И. Анализ безопасности АЭС с учетом отказов по общим причинам. Обзорная информация. Москва : Информэнерго, 1990.
24. Стефанишин Д.В., Шульман С.Г. Проблемы надежности гидротехнических сооружений. С.-Петербург : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1991. 51 с.
25. Kumamoto H., Henley E.J. Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists. N.Y.: IEEE Press, 1996. 597 p.
26. Львов А.В., Федоров М.П., Шульман С.Г. Надежность и экологическая безопасность гидроэнергетических установок. С.-Петербург : СПбГТУ, 1999. 440 с.
27. The use of risk analysis to support dam safety decisions and management. Trans. of the 20-th Int. Congress on Large Dams. Vol. 1. Q. 76. Beijing-China, 2000. 896 p.
28. Беллендир Е.Н., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. и др. Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений. С.-Петербург : В 2-х томах. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 2003. 553 с. 524 с.
29. Мирцхулава Ц.Е. Опасности и риски на некоторых водных и других системах. Виды, анализ, оценка. Тбилиси: «Мецниереба», 2003. 538 с.
30. Risk Assessment in Dam Safety Management. A reconnaissance of benefits, methods and current applications. ICOLD Bulletin 130. Paris, 2005. 276 p.
31. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. 2-е изд. перераб. и доп. С.-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
32. Трофимчук А.Н., Черный В.Г., Черный Г.И. Надежность систем сооружение – грунтовое основание в сложных инженерно-геологических условиях. Киев : ПолграфКонсалтинг, 2006. 248 с.
33. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. Москва : Издательство АСВ, 2007. 255 с.
34. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. С.-Петербург : Издательство СПбГУ, 2007. 276 с.
35. Вайнберг А.И. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений. Избранные проблемы. Харьков: Тяжпромавтоматика, 2008. 304 с.
36. Стефанишин Д.В. Статистичні оцінки живучості гребель. Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. Вип. 11. Київ: КНУБА, ІТГП НАНУ, 2012. С. 53-61.

## REFERENCES

1. Dnistrovska HES [Dnistrovska hydroelectric power station]. Retrieved from [https://uhe.gov.ua/filiyi/dnistrovska\\_hes](https://uhe.gov.ua/filiyi/dnistrovska_hes). (In Ukrainian).
2. DBN V.2.4-3:2010. (2010). Hidrotekhnichni, enerhetychni ta melioratyvni systemy i sporudy, pidzemni hirnychi vyrobky. Hidrotekhnichni sporudy. Osnovni polozhennia. [DBN V.2.4-3:2010. Hydrotechnical, energy and reclamation systems and structures, underground mining. Waterworks. Substantive provisions]. Kyiv, Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy, 37 s. (In Ukrainian).
3. Obiekty krytychnoi infrastruktury ta obiekty krytychnoi informatsiinoi infrastruktury v yevropeiskykh krainakh. Informatsiina dovidka, pidhotovlena YeIDTs na zapyt Aparatu VR Ukrainy. [Objects of critical infrastructure and objects of critical information infrastructure in European countries. Information certificate, prepared by the YESDC on request of the Apparatus of the Verkhovna Rada of Ukraine]. Retrieved from <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29297.pdf>. (In Ukrainian).
4. Stefanyshyn, D.V., Trofymchuk, O.M. (2014). Metodolohichni pidkhody do otsinky ta vrakhuvannia ryzyku v zadachakh zabezpechennia nadiinosti i bezpeky hrebels. [Methodological approaches to the assessment and risk taking in the tasks of ensuring the reliability and safety of the dam]. Kontsepsiia zakhystu krytychnoi infrastruktury: Stan, problemy ta perspektyvy yii vprovadzhennia v Ukraini. Zb. Materialiv mizhnarodnoi nauk.-praktychnoi konferentsii (7-8 lystopada 2013, Kyiv-Vyshhorod), NISD, «Natsionalna bezpeka», Vyp. 5, 88-98. (In Ukrainian).
5. Zelena knyha z pytan zakhystu krytychnoi infrastruktury v Ukraini. (2015). [Green book on critical infrastructure protection in Ukraine] : zb. mat-liv mizhnar. ekspert. narad / uporiad. D.S. Biriukov, S.I. Kondratov; za zah. red. O.M. Sukhodoli. Kyiv, NISD, 176 s. (In Ukrainian).
6. Kontsepsiia stvorennia derzhavnoi systemy zakhystu krytychnoi infrastruktury. [Concept of creation of the state system of protection of critical infrastructure]. Skhvaleno rozporiadzhenniam KMU vid 6 hrudnia 2017 r. № 1009-r. Retrieved from <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/pro-shvalennya-koncepciyi-stvorennya-derzhavnoyi-sistemi-zahistu-kritichnoyi-infrastrukturi>. (In Ukrainian).
7. Metodyka identyfikatsii potentsiino nebezpechnykh obektiv. [Method of identification of potentially dangerous objects]. Zatverdzhena nakazom MNS Ukrainy vid 23.02.2006 r. za № 98. Zareiestrovano v Ministerstvi yustytzii Ukrainy vid 20.03.2006 r. za № 286/12160. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0286-06>. (In Ukrainian).
8. Zakon Ukrainy «Pro obiekty pidvyshchenoi bezpeky». (2001). [Law of Ukraine «On the objects of increased security»]. Vidomosti VRU. 2001. № 15. St. 73. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14>. (In Ukrainian).
9. Ivashintsov, D.A., Stefanishin, D.V., Veksler, A.B. (1993). Ecological and sociodemographic consequences of hydrotechnical construction (Problems of safety and risk). Power Technology and Engineering (formerly Hydrotechnical Construction), Vol. 27, Num. 12, 685-691.
10. Veksler, A.B., Yvashyntsov, D.A., Stefanyshyn, D.V. (2002). Nadezhnost, sotsyalnaia y ekolohycheskaia bezopasnost hydrotekhnicheskyykh ob'ektov: otsenka ryska y pryniatye reshenyi. [Reliability, social and environmental safety of hydraulic facilities: risk assessment and decision making]. S.-Peterburh, VNYYH ym. B.E. Vedeneeva. 591 s. (In Russian).
11. Stefanyshyn, D.V. (2011). Prohnozuvannia avarii na hrebliakh v zadachakh otsinky y zabezpechennia yikh nadiinosti ta bezpeky. [Forecasting accidents on the dam in the tasks of assessment and ensuring their reliability and safety]. Hydroenerhetyka Ukrainy, № 3-4, 52-60. (In Ukrainian).
12. ICOLD Bulletin 99. (1995). Dam Failures: Statistical Analysis. ICOLD. Bulletin No. 99. Paris, 1995.
13. Stefanyshyn, D.V. (2008). Prohnozyrovanye avaryinosti proektyruemykh y stroiashchykh sia plotyn na osnove rezultatov statystycheskoho analiza proyzoshedshykh avaryi. [Prediction of accidents of designed and under construction dams based on the results of statistical analysis of accidents occurred]. Yzvestiya VNYYH ym. B.E. Vedeneeva, T. 251, 3-9. (In Russian).

14. Romanchuk, K.H., Stefanyshyn, D.V. (2014). Imovirnisne modeliuвання stsenariiv dvokh netyповykh avarii na hidroenerhetychnykh ob'ektakh. [Probabilistic modeling of scenarios of two types of accidental accidents on hydropower objects]. *Hidroenerhetyka Ukrainy*. № 2-3, 20-25. (In Ukrainian).
15. Ermolaev, N.N., Mykheev, V.V. (1976). Nadezhnost osnovanyi sooruzhenyi. [Reliability of the foundations of structures]. *Lenynhrad, Stroyzdat*, 152 s. (In Russian).
16. Rzhanytsyn, A.R. (1978). Teoriya rascheta stroytelnykh konstruktsyi na nadezhnost. [The theory of calculation of building structures for reliability]. *Moskva, Stroyzdat*, 239 s. (In Russian).
17. Bolotyn, V.V. (1981). Metody teoryy veroiatnostei y teoryy nadezhnosti v raschetakh sooruzhenyi. [Methods of probability theory and reliability theory in calculations of structures]. *Moskva, Stroyzdat*, 351 s. (In Russian).
18. Barlou, R., Proshan, F. (1984). Statystycheskaia teoriya nadezhnosti y yspytanya na bezotkaznost. [Statistical theory of reliability and reliability testing]. *Per. s anhl. Moskva, Nauka*, 328 s. (In Russian).
19. Raizer, V.D. (1986). Metody teoryy nadezhnosti v zadachakh normyrovanyia raschetnykh parametrov stroytelnykh konstruktsyi. [Methods of reliability theory in the problems of rationing the design parameters of building structures]. *Moskva, Stroyzdat*, 190 s. (In Russian).
20. Nadezhnost y effektivnost v tekhnike: Spravochnik. (1987). [Reliability and efficiency in technology: a Handbook]. V 10 t. / Red. soviet: V.S. Avduevskiy (pred.) y dr. T. 2.: Matematycheskiye metody v teoryy nadezhnosti y effektivnosti. [Mathematical methods in the theory of reliability and efficiency]. [Pod red. B.V. Hnedenko]. *Moskva, Mashynostroenye*, 280 s. (In Russian).
21. Auhusty, H., Baratta, A., Kashyaty, F. (1988). Veroiatnostnye metody v stroytelnom proektyrovany. [Probabilistic methods in building design]. [Per. s anhl. Yu.D. Sukhova]. *Moskva, Stroyzdat*, 1988. 584 s. (In Russian).
22. Bolotyn, V.V. (1990). Resurs mashyn y konstruktsyi. [Resource machines and designs]. *Moskva, Mashynostroenye*, 448 s. (In Russian).
23. Ybrahymov, M.Kh., Danylova, N.A., Rachkov, V.Y. (1990). Analiz bezopasnosti AES s uchetom otkazov po obshchym prychynam. [Analysis of NPP safety taking into account failures for common reasons]. *Obzornaia ynformatsiya. Moskva, Ynformenerho*. (In Russian).
24. Stefanyshyn, D.V., Shulman, S.H. (1991). Problemy nadezhnosti hidrotekhnicheskyykh sooruzhenyi. [Problems of reliability of hydraulic structures]. *S.-Peterburh, VNYYH ym. B.E. Vedeneeva*, 51 s. (In Russian).
25. Kumamoto, H., Henley, E.J. (1996). Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists. *N.Y., IEEE Press*, 597 p.
26. Lvov, A.V., Fedorov, M.P., Shulman, S.H. (1999). Nadezhnost y ekologicheskaya bezopasnost hidroenerhetycheskykh ustanovok. [Reliability and environmental safety of hydropower plants]. *S.-Peterburh, Yzd-vo SPbHTU*, 440 s. (In Russian).
27. The use of risk analysis to support dam safety decisions and management. (2000). *Trans. of the 20-th Int. Congress on Large Dams. Vol. 1. Q. 76. Beijing-China, 2000*, 896 p.
28. Bellendyr, E.N., Yvashyntsov, D.A., Stefanyshyn, D.V. y dr. (2003). Veroiatnostnye metody otsenky nadezhnosti hruntovykh hidrotekhnicheskyykh sooruzhenyi. [Probabilistic methods for assessing the reliability of earth hydrotechnical structures]. *S.-Peterburh, V 2-kh tomakh. VNYYH ym. B. E. Vedeneeva*, 553 s. 524 s. (In Russian).
29. Myrskhulava, Ts.E. (2003). Opasnosty y rysky na nekotorykh vodnykh y druhykh systemakh. Vidy, analiz, otsenka. [Hazards and risks on some water and other systems. Types, analysis, assessment]. *Tbylisy, «Metsnyereba» («Nauka»)*, 538 s. (In Russian).
30. Risk Assessment in Dam Safety Management. A reconnaissance of benefits, methods and current applications. (2005). *ICOLD Bulletin 130. Paris*, 276 p.
31. Polovko, A.M., Hurov, S.V. (2006). Osnovy teoryy nadezhnosti. [Fundamentals of the theory of reliability]. 2-e yzd. pererab. y dop. *S.-Peterburh, BKhV-Peterburh*, 704 s. (In Russian).

32. Trofymchuk, A.N., Chernyi, V.H., Chernyi, H.Y. (2006). Nadezhnost system sooruzhenye – hruntovoe osnovanye v slozhnykh ynzhenerno-heolohycheskykh uslovyakh. [Reliability of systems construction – soil foundation in difficult engineering and geological conditions]. Kyiv, PolhrafKonsaltnh, 248 s. (In Russian).
33. Perelmuter, A.V. (2007). Yzbrannye problemy nadezhnosti y bezopasnosti stroytelnykh konstruktsyi. [Selected problems of reliability and safety of building structures]. Moskva, Yzdatelstvo ASV, 255 s. (In Russian).
34. Riabynyn, Y.A. (2007). Nadëzhnost y bezopasnost strukturno-slozhnykh system. [Reliability and safety of structurally complex systems]. S.-Peterburh, Yzdatelstvo SPbHU, 276 s. (In Russian).
35. Vainberh, A.Y. (2008). Nadezhnost y bezopasnost hidrotekhnnycheskykh sooruzheniy. Yzbrannye problemy. [Reliability and safety of hydraulic structures. Selected issues]. Kharkiv, Tiazhpromavtomatyka, 304 s. (In Russian).
36. Stefanyshyn, D.V. (2012). Statystychni otsinky zhyvuchosti hrebel. [Statistical estimates of the survivability of dams]. Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia. Zb. nauk. prats. Vyp. 11. Kyiv, KNUBA, ITHIP NANU, 53-61. (In Ukrainian).

*Стаття надійшла до редакції 20.04.2019.*

**А.О. ДРОБЯЗКО, О.О. ЛЮБІЧ**

## **ЕКСПРЕС-МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ФІНАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ БАНКУ**

***Анотація.** Після світової фінансової кризи 2008 року було визнано, що методи нагляду, основані на аудиті балансів фінансових установ, не змогли завчасно попередити суспільство про розміри внутрішніх фінансових «бульбашок» і масштаби витрат, до яких були змушені вдатися уряди, щоб стабілізувати ситуацію на фінансових ринках. Водночас менеджмент компаній, приймаючи рішення в умовах реального часу, повинен мати інструмент для розуміння ризиків настання дефолту контрагента. В умовах макроекономічної фінансової нестабільності виникають питання щодо довіри до банків партнерів. Часто банки, перебуваючи у критичному стані, надають неповну або викривлену інформацію про фактичний стан. Тому, виникає потреба в наборі аналітичних інструментів, які б у зрозумілій і наочній інтерпретації слугували для прийняття управлінських рішень щодо можливості співпраці (відкриття лімітів) із контрагентами ринку. Метою статті є пропозиція застосування набору фінансових моделей для прогнозування короткострокової фінансової стійкості банків на основі доступної інформації з відкритих джерел про баланси банків.*

***Ключові слова:** фінансова стабільність, кластерний аналіз банківського ринку, моделі фінансової стійкості банківських установ, методи аналізу балансу банків.*

**DOI: 10.35350/2409-8876-2019-15-2-87-102**

### **Вступ**

За результатами 2018 року банківська системи України вперше за п'ять років показала прибуткову діяльність після кризи 2014–2015 років та відновила кредитування реального сектору економіки. В умовах інтеграції банківської системи України в європейський фінансовий простір та подальшої глобалізації фінансової системи інтерес зростає до аналізу бізнес-моделей банків, що працюють на ринку України. Методи, за допомогою яких не змогли передбачити кризу 2008 року, переосмислюються регуляторами нагляду за банками, котрі пропонують переходити до аналізу діяльності установ з урахуванням моделі їх бізнесу, а саме на предмет їх життєздатності та стійкості. У зарубіжній літературі визначають бізнес-моделі на основі восьми показників балансу банку (позики, цінні папери, міжбанківське кредитування, депозити клієнтів, залучення оптових ресурсів, стабільне фінансування та міжбанківські позики), щодо яких відбувається вибір стратегічного управління, що впливає на сильні сторони кожної організації. Зокрема, визначають бізнес-моделі банків, виходячи з їхньої діяльності для кластеризації за групами ризику. Результати роботи бізнес-моделі вимірюються показниками рентабельності та ефективності [1]. В умовах кризи для користувачів фінансових послуг банків постає питання вибору надійного

банку, який забезпечить захищеність своїх фінансових потоків. Гостра криза та проведене Національним банком України (НБУ) «очищення» ринку від дев'яти десятків приватних банків із національним капіталом, які, на погляд регулятора, були не капіталізовані або відмивали кошти, набуті злочинним шляхом, протягом останніх чотирьох років вимагає від менеджерів банків та регулятора в умовах кризи приймати рішення на підставі неповних і не завжди достовірних даних. Наведені в цій роботі моделі аналізу інформації графічно зрозуміло віддзеркалюють інформацію про діяльність і фінансові потоки банків, дають змогу систематизувати різнопланову інформацію та досягти прозорості в ухваленні управлінських рішень.

### **1. Проблема дослідження**

В умовах ринкової економіки абсолютно надійних банків не існує, особливо в умовах перехідної економіки з постійними змінами в регуляторних правилах та потужним впливом політичних процесів на перерозподіл фінансових потоків та ринків [2]. Одним із завдань ризик-менеджменту кожного банку, а також фінансових директорів потужних компаній є правильна оцінка рівня ліквідності та платоспроможності контрагентів на міжбанківському ринку, оскільки завжди є ймовірність розмістити гроші в банку на одну ніч і не повернути їх потім ніколи. Практика показала, що у період фінансової кризи від негативних результатів не рятують ні валові показники активів і капіталу, ні країна походження акціонерного капіталу, ні попередні позитивні аудиторські висновки, ні перевірки НБУ за вимогами правил Базельського комітету. Погіршення виконання клієнтами своїх обов'язків перед банком зменшує надходження, що впливає на ліквідність та розмір капіталу банку через механізм формування резервів. виправити ситуацію можна лише через своєчасне збільшення акціонерного капіталу.

### **2. Мета**

Метою цієї роботи є візуалізація дисбалансів фінансових потоків в діяльності банку на підставі математичних моделей, що ґрунтуються на доступній для широкого загалу банківській балансовій статистиці та ідентифікації ризиків.

### **3. Практична значимість**

Служби пруденційного нагляду за банківською діяльністю в Україні мають щоденну балансову інформацію, яка формується за результатами банківської звітності. Балансові звіти банків побудовані за принципом агрегації операцій зі зниженням ліквідності за активами і ступенем ліквідності пасивів ринків [2]. Методи аудиту банківської балансової звітності мають постподійний характер, а на практиці менеджменту треба приймати рішення на основі неповних даних, щоб не зазнати збитків на операціях із неплатоспроможним клієнтом в найближчому майбутньому. Балансова модель банку будується на принципах інтеграції інформації за основними балансовими агрегатами (ліквідні кошти та коррахунки в банках; міжбанківські кредити і депозити; депозити та кредити домогосподарств; депозити й кредити корпоративних клієнтів; інвестиційний портфель (державні облігації, корпоративні, депозитні сертифікати НБУ); капітал банку та сформовані

резерви). За кожним із цих агрегатів аналізується наявна інформація щодо потоків доходів та витрат. На практиці часто складається ситуація, коли треба приймати рішення за відсутності повних даних в умовах мінливої ринкової ситуації.

#### 4. Методика

Для проведення аналізу розглянемо групу банків із державним капіталом, контрольну групу банків із 100-відсотковим західним капіталом, групу російських банків та чотири найбільші українські банки з приватним капіталом. У табл. 1 за графами розраховані:

- 1) високоліквідні активи – грошові кошти та їх еквіваленти в касах банку і на кореспондентському рахунку в НБУ, якими можна розрахуватися миттєво (активи);
- 2) кошти в інших банках, на поточних та депозитних рахунках (активи);
- 3) кошти, залучені від інших банків на поточні та депозитні рахунки, кредити рефінансування НБУ та міжнародних фінансових інституцій (пасиви);
- 4) кредити надані юридичним особам за всіма банківськими продуктами (активи);
- 5) кошти юридичних осіб на поточних і депозитних рахунках (пасиви);
- 6) кредити, надані фізичним особам (домогосподарствам), за всіма банківськими продуктами (активи);
- 7) кошти, залучені від фізичних осіб на поточні та депозитні рахунки (пасиви);
- 8) вкладення банку в цінні папери (корпоративні, державні та муніципальні облігації, депозитні сертифікати НБУ (активи));
- 9) сформовані резерви за правилами НБУ для покриття збитків у разі неповернення активів (пасиви);
- 10) капітал банку (статутні внески акціонерів, розподілений прибуток за попередні роки, поточний прибуток, субординований борг) (пасиви).

У цій статті для порівняння економічних тенденцій вибрано: чотири банки з п'яти за участю держави, які входять до групи найбільших; шість із 16 банків зі 100-відсотковим західним капіталом; чотири банки з шести з російським корінням, два з яких мають засновниками російські державні банки; чотири найбільші банки з українським приватним капіталом з контрольної групи у 12 банків. Дані наведено за результатами роботи банків за 2018 рік. Підсумкові рядки в таблицях розраховані за повною групою банків, які належать до відповідного кластера банків за походженням капіталу.

Таблиця 1 – Основні валові балансові показники найбільших банків за основними ринками фінансових послуг станом на 01.01.2019, млн грн

Банк	Грошові кошти та їх еквіваленти	Кошти в інших банках	Кошти банків та НБУ	Кредити юридичним особам	Кошти юридичних осіб
	А	А	П	А	П
	1	2	3	4	5
<b>За всіма банками (76)</b>	<b>82 938,2</b>	<b>126 647,2</b>	<b>64 318,5</b>	<b>1 369 281,7</b>	<b>429 960,0</b>
Приватбанк	22 345,3	5 084,9	10 012,0	226 484,6	47 392,0
Ощадбанк	10 634,5	14 610,7	6 382,5	122 240,4	41 576,5
Укресімбанк	4 195,3	15 441,4	1 872,2	135 302,7	47 201,3
Укргазбанк	3 624,0	7 987,9	8 430,5	47 112,3	43 948,3



Продовження таблиці 1

	1	2	3	4	5
<b>Державні (5)</b>	<b>40 799,3</b>	<b>43 125,0</b>	<b>26 708,8</b>	<b>531 140,0</b>	<b>180 154,6</b>
Райффайзен Аваль	10 057,4	3 533,4	686,5	44 804,5	34 389,4
УкрСиббанк	5 202,7	12 312,3	0,0	23 071,3	25 394,8
ОТП Банк	2 325,1	2 490,4	0,1	18 079,7	15 095,7
Креді Агріколь Банк	2 118,2	6 119,5	6,1	20 079,6	19 806,1
Сітібанк	1 401,6	5 599,7	89,2	7 167,7	22 050,2
Прокредит Банк	583,4	2 406,8	302,2	16 889,4	6 559,5
<b>Із західним капіталом (16)</b>	<b>24 031,7</b>	<b>36 713,6</b>	<b>5 890,4</b>	<b>152 358,7</b>	<b>142 701,8</b>
Альфа-Банк	2 088,9	14 821,5	35,6	25 683,5	20 253,2
Сбербанк Росії	1 586,0	3 748,3	16 618,4	53 243,0	2 876,9
Укрсоцбанк	1 288,7	800,2	9 941,8	10 215,0	1 069,2
Промінвестбанк	552,4	1 163,3	795,1	45 309,8	2 842,0
<b>З російським капіталом(6)</b>	<b>5 607,5</b>	<b>20 559,9</b>	<b>27 390,9</b>	<b>134 516,0</b>	<b>27 053,3</b>
ПУМБ	2 686,8	5 596,7	698,5	25 054,4	23 010,8
Південний	1 732,1	1 884,9	1 528,3	17 180,2	8 906,7
ТАСкомбанк	943,3	1 277,4	637,5	12 166,5	5 858,6
Банк Кредит Дніпро	226,5	1 618,2	0,0	6 028,9	4 805,6
<b>Найбільші приватні (12)</b>	<b>9 116,7</b>	<b>16 483,0</b>	<b>4 007,3</b>	<b>85 342,9</b>	<b>65 467,0</b>

Банк	Кредити фізичним особам	Кошти фізичних осіб	Інвестиційний Портфель	Резерви	Капітал
	А	П	А	П	П
	6	7	8	9	10
<b>За всіма банками (76)</b>	<b>279 017,9</b>	<b>508 869,2</b>	<b>474 899,6</b>	<b>550 328,8</b>	<b>170 514,2</b>
Приватбанк	67 382,8	177 382,1	180 081,1	243 210,4	31 693,0
Ощадбанк	8 944,1	94 820,7	116 527,1	72 655,4	21 310,0
Укрексімбанк	1 973,1	26 192,6	62 492,5	70 332,6	12 132,1
Укргазбанк	6 445,1	21 065,2	22 807,4	10 005,1	5 756,9
<b>Державні (5)</b>	<b>84 745,1</b>	<b>319 460,6</b>	<b>382 116,5</b>	<b>396 204,5</b>	<b>71 140,6</b>
Райффайзен Аваль	7 057,3	23 429,2	9 158,7	4 516,8	11 623,0
УкрСиббанк	6 636,8	15 204,7	5 469,0	3 817,0	9 790,3
ОТП Банк	9 467,4	11 259,5	4 980,9	5 720,5	5 254,8
Креді Агріколь Банк	3 872,9	6 718,0	2 149,4	2 338,8	5 265,9
Сітібанк	51,1	0,2	10 373,5	64,3	2 303,7
Прокредит Банк	135,6	5 553,3	1 153,3	505,4	3 301,2
<b>Із західним капіталом (16)</b>	<b>36 635,6</b>	<b>72 947,5</b>	<b>44 106,9</b>	<b>20 248,0</b>	<b>49 161,9</b>
Альфа-Банк	15 819,4	32 033,1	6 639,1	9 206,2	6 373,2
Сбербанк Росії	2 764,5	5 615,6	3 461,6	36 602,3	4 712,0
Укрсоцбанк	25 577,3	1 008,7	0,1	26 135,7	3 382,4
Промінвестбанк	117,3	3 161,0	87,3	37 503,6	2 760,8
<b>З російським капіталом(6)</b>	<b>46 013,2</b>	<b>43 225,7</b>	<b>10 308,3</b>	<b>110 218,5</b>	<b>17 469,0</b>
ПУМБ	11 600,8	17 316,0	11 666,5	9 401,9	6 849,7
Південний	336,5	8 461,9	3 402,9	1 867,8	2 656,1
ТАСкомбанк	1 809,3	7 937,8	1 417,6	1 072,7	2 490,5
Банк Кредит Дніпро	1 043,1	3 959,1	1 610,2	2 961,3	1 048,3
<b>Найбільші приватні (12)</b>	<b>26 345,2</b>	<b>59 723,0</b>	<b>28 563,1</b>	<b>20 664,6</b>	<b>20 126,3</b>

Складено за даними НБУ (інформаційний ресурс: [www.bank.gov.ua](http://www.bank.gov.ua)).

Інформацію у табличній формі сприймати важко, отже, якщо відобразити інформацію в графічному вигляді (рис. 1), виникає можливість наочного порівняння масштабів бізнесу банків або груп банків.

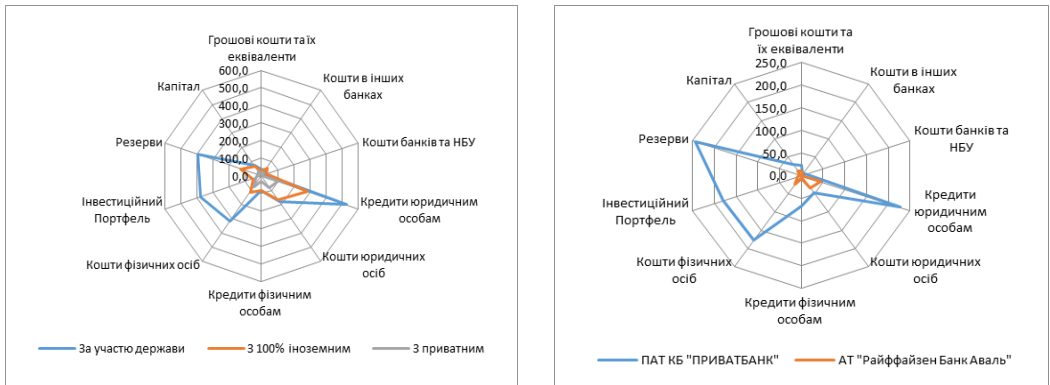


Рисунок 1 – Порівняння масштабів бізнесу банків за участю держави в капіталі, із 100-відсотковим іноземним капіталом, приватним капіталом та Приватбанку (найбільшого державного) і Райффайзен банк Аваль (найбільший іноземний) на основних ринках банківських послуг, млрд грн

Побудовано за даними Національного банку України (URL: <http://www.bank.gov.ua>).

З рис. 1 можна побачити різницю в масштабах бізнесу банків за участю держави в капіталі, зі 100-відсотковим іноземним капіталом (західним і російським), приватним капіталом (ліва діаграма) та Приватбанку (найбільшого державного) і Райффайзен банку Аваль (найбільшого іноземного) на основних ринках банківських послуг (права діаграма). Але валові показники незначною мірою відображають якість балансу банку. Тобто, аби далі говорити про фінансову стійкість, ліквідність і платоспроможність, перейдемо до іншої моделі: зважимо показники балансу на капітал банку (табл. 2).

Таблиця 2 – Основні валові балансові показники найбільших банків за основними ринками фінансових послуг станом на 01.01.2019 (зважені на власний капітал)

Банк	Грошові кошти та їх еквіваленти	Кошти в інших банках	Кошти банків та НБУ	Кредити юридичним особам	Кошти юридичних осіб
	А	А	П	А	П
	1	2	3	4	5
<b>За всіма банками (76)</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>8,0</b>	<b>2,5</b>
ПАТ КБ "Приватбанк"	0,7	0,2	0,3	7,1	1,5
АТ "Ощадбанк"	0,5	0,7	0,3	5,7	2,0
АТ "Укресімбанк"	0,3	1,3	0,2	11,2	3,9
АБ "Укргазбанк"	0,6	1,4	1,5	8,2	7,6
<b>Державні (5)</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>7,5</b>	<b>2,5</b>
АТ "Райффайзен Банк Аваль"	0,9	0,3	0,1	3,9	3,0
АТ "УкрСиббанк"	0,5	1,3	0,0	2,4	2,6

Продовження таблиці 2

	1	2	3	4	5
АТ "ОТП Банк"	0,4	0,5	0,0	3,4	2,9
ПАТ "Креді Агріколь Банк"	0,4	1,2	0,0	3,8	3,8
ПАТ "Сітібанк"	0,6	2,4	0,0	3,1	9,6
АТ "Прокредит Банк"	0,2	0,7	0,1	5,1	2,0
<b>Із західним капіталом(16)</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,1</b>	<b>3,1</b>	<b>2,9</b>
ПАТ "Альфа-Банк"	0,3	2,3	0,0	4,0	3,2
АТ "Сбербанк Росії"	0,3	0,8	3,5	11,3	0,6
ПАТ "Укросоцбанк"	0,4	0,2	2,9	3,0	0,3
ПАТ "Промінвестбанк"	0,2	0,4	0,3	16,4	1,0
<b>Із російським капіталом(6)</b>	<b>0,3</b>	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	<b>7,7</b>	<b>1,5</b>
ПАТ "ПУМБ"	0,4	0,8	0,1	3,7	3,4
Акціонерний банк"Південний"	0,7	0,7	0,6	6,5	3,4
АТ "ТАСкомбанк"	0,4	0,5	0,3	4,9	2,4
ПАТ "Банк Кредит Дніпро"	0,2	1,5	0,0	5,8	4,6
<b>Найбільші приватні (12)</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>4,2</b>	<b>3,3</b>

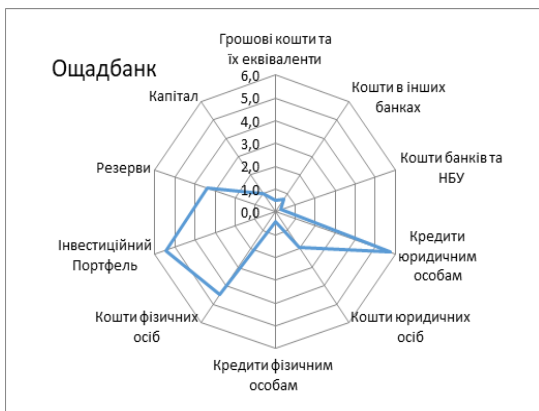
Банк	Кредити фізичним особам	Кошти фізичних осіб	Інвестиційний Портфель	Резерви	Капітал
	А	П	А	П	П
	6	7	8	9	10
<b>За всіма банками (76)</b>	<b>1,6</b>	<b>3,0</b>	<b>2,8</b>	<b>3,2</b>	<b>1,0</b>
ПАТ КБ "Приватбанк"	2,1	5,6	5,7	7,7	1,0
АТ "Ощадбанк"	0,4	4,4	5,5	3,4	1,0
АТ "Укресімбанк"	0,2	2,2	5,2	5,8	1,0
АБ "Укргазбанк"	1,1	3,7	4,0	1,7	1,0
<b>Державні (5)</b>	<b>1,2</b>	<b>4,5</b>	<b>5,4</b>	<b>5,6</b>	<b>1,0</b>
АТ "Райффайзен Банк Аваль"	0,6	2,0	0,8	0,4	1,0
АТ "УкрСиббанк"	0,7	1,6	0,6	0,4	1,0
АТ "ОТП Банк"	1,8	2,1	0,9	1,1	1,0
ПАТ "Креді Агріколь Банк"	0,7	1,3	0,4	0,4	1,0
ПАТ "Сітібанк"	0,0	0,0	4,5	0,0	1,0
АТ "Прокредит Банк"	0,0	1,7	0,3	0,2	1,0
<b>Із західним капіталом(16)</b>	<b>0,7</b>	<b>1,5</b>	<b>0,9</b>	<b>0,4</b>	<b>1,0</b>
ПАТ "Альфа-Банк"	2,5	5,0	1,0	1,4	1,0
АТ "Сбербанк Росії"	0,6	1,2	0,7	7,8	1,0
ПАТ "Укросоцбанк"	7,6	0,3	0,0	7,7	1,0
ПАТ "Промінвестбанк"	0,0	1,1	0,0	13,6	1,0

Продовження таблиці 2

	6	7	8	9	10
<b>Із російським капіталом(6)</b>	<b>2,6</b>	<b>2,5</b>	<b>0,6</b>	<b>6,3</b>	<b>1,0</b>
ПАТ "ПУМБ"	1,7	2,5	1,7	1,4	1,0
Акціонерний банк"Південний"	0,1	3,2	1,3	0,7	1,0
АТ "ТАСкомбанк"	0,7	3,2	0,6	0,4	1,0
ПАТ "Банк Кредит Дніпро"	1,0	3,8	1,5	2,8	1,0
<b>Найбільші приватні (12)</b>	<b>1,3</b>	<b>3,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>

Складено за даними НБУ (інформаційний ресурс: [www.bank.gov.ua](http://www.bank.gov.ua)).

Розрахунок присутності банку на конкретному ринку порівняно з власним капіталом дає уявлення про ризикованість вкладень (рис. 2). Надається відповідь на запитання, якою мірою банк проводить активні операції за рахунок власних або залучених коштів. Чим вищий коефіцієнт, тим більше банк вкладає в цей ринок коштів, що залучені від клієнтів на інших ринках, тим, відповідно, збільшується ризикованість вкладень за активними операціями. Наприклад, Ощадбанк має ресурсну базу фізичних осіб, яка в 4,4 раза перевищує капітал, Приватбанк – у 5,6 раза, а кошти за цими джерелами вкладені у кредити юридичним особам. Так, кредитний портфель корпоративного бізнесу в Ощадбанку більше у 5,7 раза капіталу банку, а у Приватбанку – у 7,1 раза більше капіталу. З наведеної таблиці випливає, що банки із західним капіталом провадять більш зважену фінансову політику і мають майже вдвічі менші коефіцієнти. Більше того, їхня політика спрямована на вирівнювання активних і пасивних операцій у кожному сегменті фінансового ринку, наприклад, як у Раффайзен банку Аваль (Австрія). Є, безумовно, і винятки. Наприклад, американський Сітібанк, який спеціалізується на кредитуванні торговельних експортно-імпорتنних операцій, працює за заставними інструментами страхових експортно-кредитних агенцій, має великі перекоси у своїх балансах. Але для цього явища є відповідні пояснення та зрозумілі запобіжники страхування від втрат капіталу.



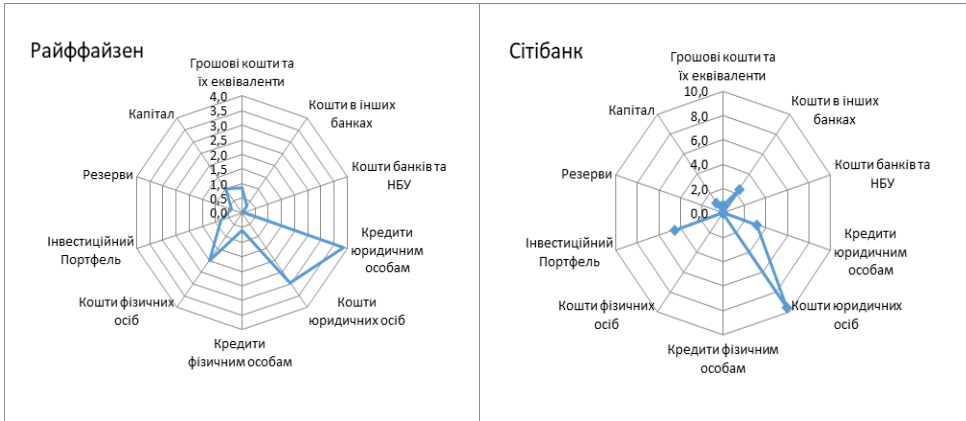


Рисунок 2 – Порівняння моделей бізнесу банків Укрексімбанк, Ощадбанк, Райффайзен банк Аваль та Сітібанк за основними ринками активності, зважені на обсяг власного капіталу, разів

Побудовано за даними Національного банку України (URL: <http://www.bank.gov.ua>).

Зваживши присутність банку на власний капітал, ми знімаємо питання про масштаб і можемо порівнювати контрагентів ринку за орієнтацією банку на ринку послуг.

Класифікація бізнес-моделей банків в Україні передбачає виокремлення чотирьох основних типів на основі структури активів та пасивів [4]:

- 1) універсальна – суттєві частки в активах та зобов'язаннях мають операції з юридичними, фізичними особами, іншими банками та небанківськими фінансовими установами, банк має інвестиційний портфель активів;
- 2) роздрібна – основну частку в активах та зобов'язаннях становлять операції з фізичними особами;
- 3) корпоративна – основну частку в активах мають кредити, надані юридичним особам, у зобов'язаннях превалюють кошти, залучені від юридичних осіб;
- 4) корпоративна з роздрібним фінансуванням – основну частку в активах становлять кредити, надані юридичним особам, у зобов'язаннях превалюють кошти, залучені від фізичних осіб.

Інтерес до аналізу бізнес-моделей банків зростає у зв'язку з глобальним переходом регуляторів до нагляду за банками з урахуванням моделі їх бізнесу, а саме на предмет їх життєздатності та стійкості. Результати роботи бізнес-моделі вимірюються показниками рентабельності й ефективності.

Для побудови моделі фінансових потоків використовується план рахунків банківського балансу за розділами 6 і 7 (доходи та витрати). Фінансова модель банку аналізується крізь призму його чистих фінансових потоків із основними суб'єктами ринку, котрі обчислюються як сальдо між доходами і витратами, зваженими на суму доходів. Запропонована модель вказує на основні ринки (суб'єкти взаємодії), де банк заробляє або витрачає кошти. Відповідно, якщо ціна ресурсів на цьому ринку зростає чи спадає, модель свідчить про ризики можливої зміни в доходах або витратах, даючи можливість зробити припущення щодо стабільності банку та його бізнес-моделі загалом. Досвід кризи 2014–2015 років показав небезпечність моделі, за котрої банк є глобальним позичальником і зазнає

витрат на ринку депозитів фізичних осіб, а основний дохід отримує на ринку кредитів юридичних осіб, які у кризовий період перестають обслуговувати свої фінансові зобов'язання. Подальшим напрямом поглиблення цього аналізу для фінансового аналітика є аналіз концентрації ресурсів в одній галузі, приміром, будівництва чи сільського господарства. Адже потрясіння у промисловій галузі неодмінно призводить до збільшення нарахованих, але не отриманих доходів, що позначається на необхідності формування додаткових резервів. Паніка на ринку, скажімо фізичних осіб, додає до виплат за процентами ризику відпливу основного тіла залучених коштів, що погіршує фінансовий стан банку. Так, під час кризи 2008 року банки з великим від'ємним сальдо на ринку міжбанківського кредитування, з огляду на швидкість обігу коштів на ньому, втратили ліквідність першими і зупинили розрахунки за вимогами клієнтів. Зокрема, тільки-но зазнав дефолту на той момент найбільший у країні Промінвестбанк і в системі зупинилося міжбанківське кредитування, внаслідок ефекту «доміно» низка банків, котрі залежали від запозичень на міжбанківському ринку (мали від'ємне сальдо за доходами й витратами), втратили ліквідність («Надра», Укргазбанк, «Київ», Кредитпромбанк та ін.).

Розглянемо фінансові моделі за доходами й витратами найбільших банків України за участю держави в капіталі та порівняємо їх з найбільшими вітчизняними банками із західним і приватним капіталом. У табл. 3 у графі «сальдо міжбанківських потоків» враховано операції банку з іншими банками на внутрішньому і зовнішньому ринку, кредити рефінансування НБУ. Для побудови моделі показник зважується на весь обсяг доходів. У графі «сальдо потоків з юридичними особами» враховано всі розрахунки за депозитними і кредитними відносинами, зважені на весь обсяг доходів. У графі «сальдо потоків із фізичними особами» враховано розрахунки з фізичними особами за кредитними і депозитними операціями, зважені на весь обсяг доходів. У графі «сальдо інвестиційного бізнесу» враховано доходи від операції за третім розділом банківського балансу, де обліковуються переважно державні ОВДП та депозитні сертифікати НБУ. Інвестиційні інструменти корпоративного бізнесу не перевищують 5% у загальному обсязі портфеля. У відповідній графі потоки зважені на загальний обсяг доходів. У графі «сальдо комісійних, торговельних, інших доходів та витрат» враховано торговельні та комісійні доходи на всіх фінансових ринках та витрати повернення списаних активів після судових рішень, витрати на страхування, інші операційні доходи та витрати, зважені на «доходи усього». Під операційним прибутком враховано задекларований банком прибуток та обсяг сформованих резервів за активними операціями, показник зважений на «доходи усього».

Станом на 2018 рік склалася ситуація значних перекосів у процентних ставках на ринку. Так, через європейську кон'юнктуру банки із західним капіталом не зацікавлені платити дорого за валютними депозитами, тому більшість банків із цього кластера залучають ресурси за ставками, нижчими від 1%. Українські банки, у тому числі з державним капіталом, не мають можливості залучати валютні ресурси на зовнішніх ринках дешево, тому на внутрішньому ринку вони готові платити по 3–5%. Тому в різних груп банків за однаковий обсяг ресурсів, що залучені на відкритих ринках, фінансові потоки платежів можуть істотно відрізнитися. У табл. 3 наведено дані про доходи та витрати банків за результатами діяльності за 2018 рік та сальдо фінансових потоків за основними ринками заробітку. Різниця між показниками є чистим прибутком, який декларується банками. Але практики банківського бізнесу більшу увагу звертають на

операційний прибуток, оскільки інколи банки показують позитивну діяльність за рахунок розформування резервів. Якщо при цьому за балансовими показниками банк зростає, то є ймовірність, що маємо справу з викривленою інформацією.

Таблиця 3 – Доходи та витрати найбільших банків за результатами діяльності за 2018 рік (млн грн) та сальдо фінансових потоків з основними ринками заробітку (%)

Банки	Усього доходи, млн грн	Усього витрати, млн грн	Сальдо міжбанківських потоків, %	Сальдо потоків з юридичними особами, %	Сальдо потоків з фізичними особами, %
<b>За всіма банками (76)</b>	<b>208 478</b>	<b>192 012</b>	<b>-5,4</b>	<b>20,4</b>	<b>3,1</b>
Приватбанк	51 895	40 227	-3,2	3,7	9,7
Ощадбанк	23 399	23 267	-13,5	21,1	-21,4
Укрексімбанк	13 141	12 182	-42,3	41,1	-9,1
Укргазбанк	9 709	8 943	-1,5	12,9	-9,6
<b>Державні (5)</b>	<b>98 224</b>	<b>84 662</b>	<b>-10,7</b>	<b>13,7</b>	<b>-2,1</b>
УкрСиббанк	7 629	4 971	3,0	26,4	15,0
ОТП Банк	6 012	4 038	1,3	22,8	16,1
Креді Агріколь	5 184	3 722	1,3	25,6	13,3
Сітібанк	2 846	1 431	3,2	5,5	0,1
Прокредит	2 513	1 851	-13,5	65,5	-12,9
<b>Із західним капіталом (16)</b>	<b>46 731</b>	<b>31 962</b>	<b>0,2</b>	<b>27,9</b>	<b>11,3</b>
Райффайзен Аваль	14 354	9 266	0,2	32,6	6,7
Альфа-Банк	11 080	9 822	4,1	13,6	15,1
Сбербанк	4 593	12 207	-11,0	69,9	-5,1
Укрсоцбанк	4 393	5 279	-9,4	17,1	15,6
Промінвестбанк	2 249	5 638	-0,9	85,6	-13,9
<b>Із російським капіталом (6)</b>	<b>22 898</b>	<b>33 694</b>	<b>-2,2</b>	<b>32,3</b>	<b>8,8</b>
ПУМБ	9 141	7 103	-0,1	12,6	19,3
Південний	3 600	3 318	-6,7	46,1	-11,3
ТАСКОМБАНК	2 983	2 553	0,6	43,5	-9,2
Кредит Дніпро	1 650	1 879	0,3	12,0	-5,5
<b>Найбільші приватні (12)</b>	<b>27 464</b>	<b>23 981</b>	<b>-1,3</b>	<b>21,0</b>	<b>7,6</b>

Банки	Сальдо інвестиційного бізнесу, %	Сальдо комісійних, торговельних, інших доходів та витрат, %	Витрати на утримання банку і персоналу, %	Операційний прибуток, %
<b>За всіма банками (76)</b>	<b>17,6</b>	<b>15,2</b>	<b>-26,6</b>	<b>26,2</b>
Приватбанк	22,2	25,1	-21,1	36,3
Ощадбанк	38,2	-6,4	-31,8	-14,9
Укрексімбанк	29,7	-3,9	-15,4	-2,2
Укргазбанк	31,3	6,9	-21,6	18,1

Продовження таблиці 3

Банки	Сальдо інвестиційного бізнесу, %	Сальдо комісійних, торговельних, інших доходів та витрат, %	Витрати на утримання банку і персоналу, %	Операційний прибуток, %
<b>Державні (5)</b>	<b>27,9</b>	<b>11,9</b>	<b>-22,9</b>	<b>17,2</b>
УкрСиббанк	7,0	19,6	-35,2	35,2
ОТП Банк	8,1	12,1	-21,1	39,3
Креді Агріколь	5,9	13,2	-24,6	33,6
Сітібанк	43,8	6,4	-8,5	50,4
Прокредит	3,1	1,5	-16,3	27,0
<b>Із західним капіталом (16)</b>	<b>10,9</b>	<b>10,7</b>	<b>-26,4</b>	<b>34,3</b>
Райффайзен Аваль	9,4	12,0	-27,0	34,1
Альфа-Банк	2,9	24,9	-27,9	31,1
Сбербанк	8,8	-3,8	-30,5	26,3
Укрсоцбанк	0,8	22,1	-48,7	-2,5
Промінвестбанк	0,4	-7,3	-42,2	21,8
<b>Із російським капіталом (6)</b>	<b>3,4</b>	<b>14,7</b>	<b>-34,2</b>	<b>21,6</b>
ПУМБ	14,4	14,8	-32,9	27,1
Південний	3,9	19,3	-32,8	18,3
ТАСКОМБАНК	3,8	7,1	-27,9	16,1
Кредит Дніпро	5,2	43,2	-29,2	26,0
<b>Найбільші приватні (12)</b>	<b>8,2</b>	<b>21,3</b>	<b>-32,7</b>	<b>23,4</b>

Складено за даними НБУ (інформаційний ресурс: [www.bank.gov.ua](http://www.bank.gov.ua)).

Якщо результати розрахунків табл. 3 представити у графічному вигляді (рис. 3) на вибраних банках, то наочно можна оцінити різницю фінансових моделей банків. Так, незважаючи на показану прибуткову діяльність за 2018 рік, Ощадбанк і Укрексімбанк мають від'ємний операційний прибуток, що вказує на серйозні проблеми. На діаграмах видно, що всі вибрані банки мають витрати на утримання банку на рівні 22–26%. Але банки з приватним українським капіталом здійснюють середні витрати на утримання банку більші, ніж іноземні, за рахунок меншого масштабу бізнесу. Саме це є стимулом для процесів злиття та поглинання. Насамперед в Укрексімбанку, але й в Ощадбанку наявні значні запозичення на міжнародних ринках і є необхідність обслуговування цих ресурсів, банки мають від'ємний фінансовий потік на міжбанківському ринку, а також втрати, зафіксовані за рахунок незбалансованості валютних портфелів за активами і пасивами. Відповідно, за рахунок зміцнення курсу гривні на 1,5% за 2018 рік банки сформували збитки через переоцінку вартості валютних портфелів. Хоча це не знімає відповідальності з менеджменту стосовно недостатніх надходжень за комісійними операціями. Показово, що найбільший позитивний фінансовий потік Ощадбанк має від інвестиційного портфеля, де обліковуються державні ОВДП та депозитні сертифікати НБУ. Якщо знати, що дохідність цих інструментів напряму залежить від облікової процентної ставки НБУ, то можна прогнозувати збільшення збитків, якщо центробанк буде приводити облікову ставку до рівня поточних інфляційних процесів, що є логічним продовженням



реформ у фінансовому секторі. Сьогодні найнебезпечнішою моделлю ведення бізнесу вважається така, коли банк залучає ресурси з ринку фізичних осіб (від'ємне сальдо), а заробляє на ринку юридичних осіб. Залежність від ринку міжбанківських операцій також є небажаною. Отже, наявність по кожному банку бізнес-моделей, наведених на рис. 1 та 2 за кожним банком – контрагентом, надає первинну інформацію про ступінь ризикованості бізнесу.

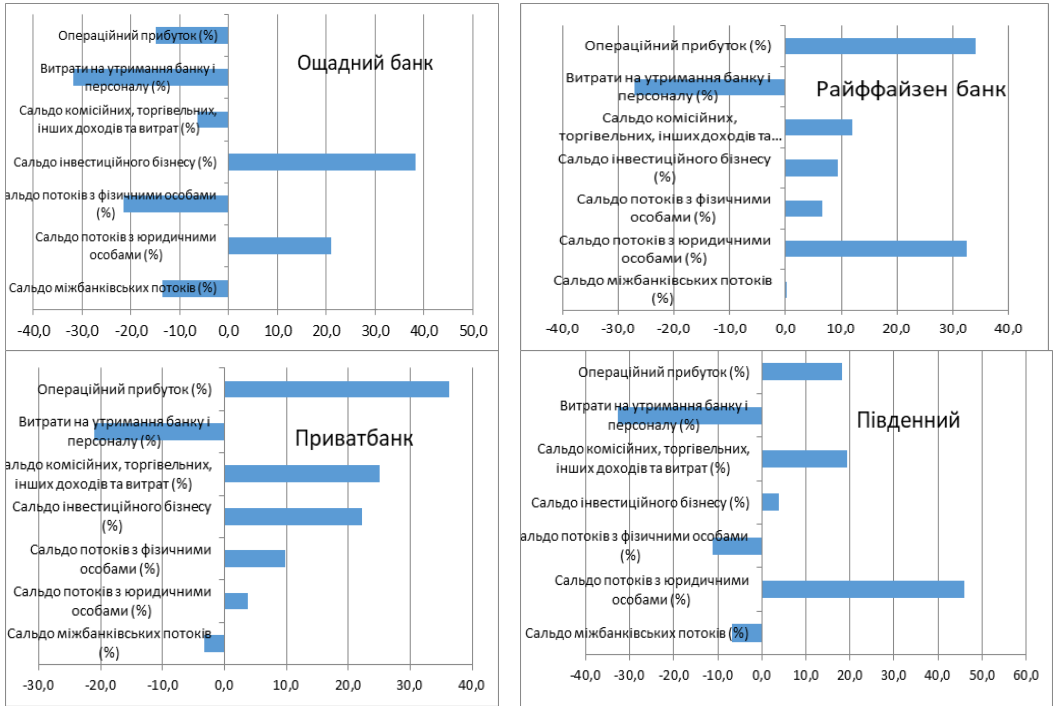


Рисунок 3 – Порівняння моделей бізнесу банків: Приватбанк, Ощадбанк, Райффайзен банк Аваль та Південний за основними фінансовими потоками, зваженими на загальні доходи, %

Побудовано за даними Національного банку України (URL: <http://www.bank.gov.ua>).

Для порівняння захищеності бізнесу власним капіталом і капіталізації банку на поточний момент з іншими суб'єктами, що працюють на ринку, будують модель «Адекватність – Леверидж». Це відношення чистих активів до капіталу банку по осі абсцис та зобов'язань банку до капіталу по осі ординат. Банки, розміщені у правому верхньому куті, мають більші фінансові плечі й можливості отримання прибутку, але і більші ризики, що не покриті власним капіталом, і власники можуть отримати від регулятора вимоги щодо швидкої докапіталізації банку. Але це банки, які заробляють на залучених коштах. Банки, розташовані в лівому нижньому куті, мають малий портфель працюючих активів і, як наслідок, характеризуються малоприбутковою діяльністю, але є стійкішими до зовнішніх шоків. На рис. 4 видно, наскільки відрізняється політика щодо захищеності операцій власним капіталом дочок західних банків, материнські структури яких діють за вимогами європейської директиви (Базель III), від банків із державним українським капіталом. Попри істотні державні капіталовкладення Кабінету

Міністрів України в банківський сектор, кожен окремий банк має нижчий рівень капіталізації від банків із західним капіталом. Залежно від економічного циклу розвитку ця діаграма надає уявлення щодо надійності фінансової структури порівняно з іншими на ринку.

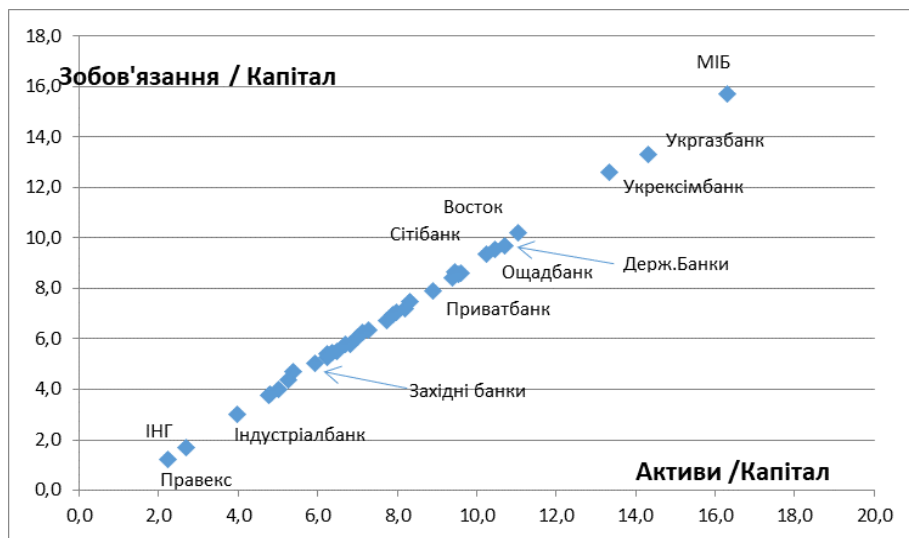


Рисунок 4 – Кластеризація банків за моделлю захищеності зобов'язань та активів банку балансовим капіталом найбільших банків станом на 01.01.2019

Побудовано за даними Національного банку України (URL: <http://www.bank.gov.ua>).

Одним із ключових економічних показників банківської діяльності, що добре характеризує процентну політику банку на ринку, є «спред». Це різниця між вартістю розміщених активів, які приносять дохід банку (відношення процентних доходів до активів, що приносять процентний дохід), і вартістю залучених зобов'язань, за якими банк здійснює процентні витрати. У теорії прийнятним рівнем спреду є 4%, чого за нормальних масштабів бізнесу вистачає на утримання персоналу та інші витрати банку. Завданням процесів злиття та поглинання банків є оптимізація витрат за рахунок збільшення масштабів бізнесу й витрат на утримання персоналу. На рис. 5 обчислено динаміку цього показника по контрольній групі банків, щоб оцінити якість менеджменту банків за участю держави.

У банківській системі кредити залишаються важкодоступними для клієнтів реального сектору економіки через високу процентну маржу, яку закладають банки (більш як 6%) та вимоги до покриття боргу забезпеченням. На рис. 5 можна побачити, що банки з іноземним капіталом мають високий рівень (понад 6%) цього показника (Райффайзен банк Аваль, УкрСиббанк, ОТП, ПУМБ, Альфабанк, Креді Агріколь). За 2018 рік істотно покращив показник спреду Ощадбанк, що пов'язано з розширенням клієнтської бази – зі збільшенням урядових виплат широким верствам населення через його рахунки. На рівні 4–3% підтримують цей показник Сбербанк Росії та Укргазбанк. З від'ємного на позитивний (+2%) змінився цей показник у Приватбанку. Водночас в Укресімбанку цей показник від'ємний, що потребує вдосконалення бізнес-процедур і зміни моделі

функціонування. Аналіз динаміки цього показника дає уявлення про мінімальні можливості менеджменту Укресімбанку кардинально змінювати свою процентну політику. Таким чином, порівняння зміни «спреду» з банками, що конкурують на ринку, вказує на стан фінансового здоров'я.

Регулярне обговорення динаміки показників банків конкурентів у комітетах з ризик-менеджменту та з управління активами і пасивами забезпечує розуміння процесів, що відбуваються у банківському середовищі, для прийняття адекватних рішень.

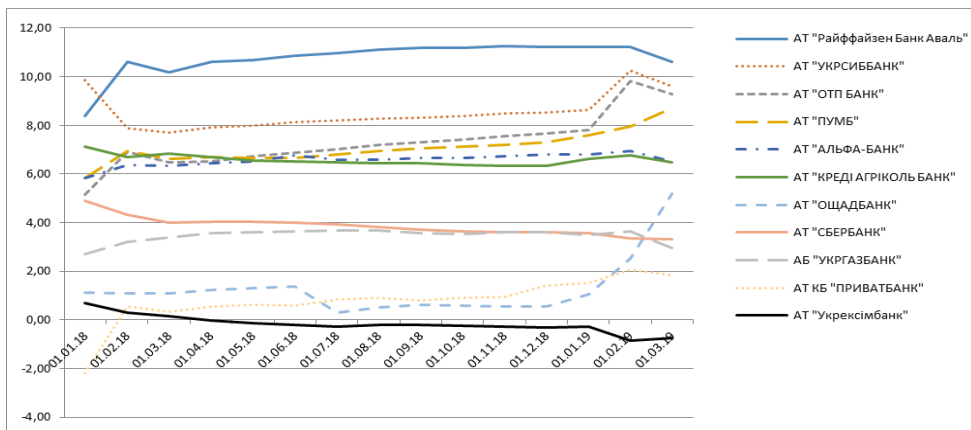


Рисунок 5 – Динаміка спреда банків за участю держави та провідних банків із західним і приватним капіталом протягом 2018–2019 рр., %

Побудовано за даними Національного банку України (URL: <http://www.bank.gov.ua>).

## Висновки

Кожна з наведених фінансових моделей не є чимось невідомим для банківських аналітиків. Але послідовне застосування запропонованих моделей досить точно розкриває фінансові дисбаланси банківської установи на доступному обсязі даних, які повинні розкриватися для всіх учасників ринку.

В умовах макроекономічної фінансової нестабільності виникають питання довіри до банків. У практичній роботі менеджменту на ринку інколи треба приймати рішення на підставі неточних і неповних даних. Тому виникає потреба в наборі аналітичних інструментів, які надають зрозумілу й наочну інтерпретацію управлінських рішень щодо можливості співпраці (відкриття лімітів) з контрагентами ринку. Застосування простих фінансових моделей до прогнозування короткострокової фінансової стійкості банків на основі доступної інформації з відкритих джерел про баланси банків дає змогу ухвалювати адекватні рішення. Наведені методи оцінки фінансового стану банків можуть бути рекомендовані для застосування в поточній діяльності як ризик-менеджерами банків, так і службами пруденційного банківського нагляду, для планування першочергових виїзних перевірок банків. Метод оцінки фінансового стану банків дає змогу забезпечити зрозумілу й наочну інтерпретацію управлінських рішень щодо можливості співпраці (відкриття лімітів) із контрагентами ринку на основі доступної і часом свідомо викривленої інформації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Farnè M., Vouldis A. Business models of the banks in the euro area. Working Paper Series / European Central Bank. 2017. May. No 2070.
2. Любіч О. О. Теоретичні основи прийняття фінансових рішень на макрорівні. Київ: НДФІ, 2004. 348 с.
3. План рахунків бухгалтерського обліку банків України : затв. постановою Правління НБУ від 11.09.2017. URL: <https://bank.gov.ua/document/download?docId=55228582>.
4. Касаткіна Т., Плахота А. Аналіз бізнес-моделей банків у рамках Supervisory review and evaluation process (SREP) / Департамент банківського нагляду, Національний банк України. Київ, 2018.
5. Дробязко А. О., Любіч О. О. Експрес-діагностування фінансової стійкості банків на основі застосування методів кластерного аналізу: тези доповідей Міжнародної наукової конференції, присвяченої 60-річчю заснування Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України "Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку", Україна, Київ 13–15 грудня 2017 р. С. 265–267.
6. Любіч О. О., Бортніков Г. П., Дробязко А. О. Сигнали раннього попередження фінансових криз. Фінанси України. 2015. № 7 (236). С. 24–39.
7. Дробязко А. О., Любіч О. О. Застосування методів кластеризації до прогнозування фінансової стійкості банків. Математичне моделювання в економіці : зб. наук. пр. / Нац. акад. наук України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору, Ін-т екон. та прогноз., Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова. Київ, 2015. № 1. С. 92–104.
8. Дробязко А., Сушко В. Банки Украины. Обобщенный портрет на фоне мирового финансового кризиса. Финансовые риски. 2008. № 1. С. 21–44.
9. Інформаційний ресурс НБУ. URL: [www.bank.gov.ua](http://www.bank.gov.ua).

## REFERENCES

1. Farnè, M., Vouldis, A. (2017, May). Business models of the banks in the euro area. Working Paper Series. European Central Bank, 2070.
2. Liubich, O. O. (2004). Theoretical basis for making financial decisions at the macro level. Kyiv: NDFI [in Ukrainian].
3. National Bank of Ukraine. (2017). The chart of accounts of banks of Ukraine (Decree No. 89, September 11). Retrieved from <https://bank.gov.ua/document/download?docId=55228582> [in Ukrainian].
4. Kasatkina, T., Plakhota, A. (2018). Bank business models analysis under the Supervisory Review and Evaluation Process (SREP). Kyiv: Natsionalnyi bank Ukrainy [in Ukrainian].
5. Drobyazko, A. O., Liubich, O. O. (2017). Express-diagnosis of financial stability of banks based on the application of cluster analysis methods. In Modern informatics: problems, achievements and prospects of development (pp. 265–267). Kyiv [in Ukrainian].
6. Liubich, O. O., Bortnikov, H. P., & Drobyazko, A. O. (2015). Early warning signals of banking crisis. Finance of Ukraine, 7 (236), 24–39 [in Ukrainian].
7. Drobyazko, A. O., Liubich, O. O. (2015). Application of clusterization methods to predict financial stability of banks. Mathematical modeling in economy, 1, 92–104 [in Ukrainian].
8. Drobyazko, A., Sushko, V. (2008). Banks of Ukraine. Generalized portrait on the background of the global financial crisis. Financial risks, 1, 21–44 [in Russian].
9. National Bank of Ukraine. (n. d.). Retrieved from <https://www.bank.gov.ua>.

*Стаття надійшла до редакції 24.03.2019.*

**І.П. МАКАРЕНКО, О.Г. РОГОЖИН**

## **СИСТЕМА ІННОВАЦІЙНИХ ІНДИКАТОРІВ ЄС ЯК ІНСТРУМЕНТ ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ**

***Анотація.** В контексті проблем економічного та інноваційного розвитку європейського макрорегіону показано, що формування систем інноваційних індикаторів органічно пов'язане із об'єднавчими процесами Європи, залежними від тенденцій глобального економічного розвитку. Наголошено, що глобальні формати формування інноваційних індикаторів обумовлені європейським досвідом. На прикладі Європейського Співтовариства (ЄС) аргументована важливість використання макроекономічних та інноваційних індикаторів в єдиному комплексі. Встановлено, що зазначені індикатори виконують функцію компенсації недостатньо розвинутого макроекономічного середовища розглянутих національних економік. Ці обставини потребують врахування у національних стратегіях інноваційного розвитку та створення для цього відповідного інструментарію.*

***Ключові слова:** інновація, інноваційні індикатори, регіональні інноваційні системи, євроінтеграція, інтегральні (комполитні) індекси, системне макроекономічне середовище.*

**DOI: 10.35350/2409-8876-2019-15-2-103-117**

### **Вступ**

Об'єднавчий процес Європи дуже часто розглядають фрагментарно. Це призводить до розмивання його змісту. Зокрема, це стосується процесів створення європейської системи інноваційних індикаторів – Європейського Інноваційного Табло (EIS). Поза увагою залишається питання, чому європейці взагалі пішли на його створення. Яку мету цим переслідували? Відповідь, що для управління інноваційними процесами, не можна вважати вичерпною. З системи індикаторів як такої не впливає методологія управління інноваційними процесами. Еволюційно-економічний сенс запровадження EIS розкривається лише при достатньо повному розгляді багатостадійного європейського об'єднавчого процесу.

Ця тема потребує спеціального дослідження. Але з огляду на те, що питання його методології також може бути дискусійним, пропонуємо виходити з такої гіпотези про її основні умови: ринковим механізмам у визначенні векторів інноваційного розвитку поки що немає альтернативи [1, с. 8, 161-162, 40]; системи індикаторів неможливо використати в якості основного методу інноваційного управління, моніторингу та визначення інноваційних пріоритетів (лише як допоміжного, другорядного інструменту).

**Постановка задачі та мета дослідження.** Україна обрала європейський політичний вектор та перспективу об'єднання з ЄС. Тому має бути проаналізований багаторічний досвід європейської економічної інтеграції, зокрема в частині застосовуваних методів інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу інноваційної діяльності та сприяння її розвитку.

Метою даної статті є визначення місця і шляхів удосконалення систем інноваційних індикаторів (СІІ) в механізмах управління розвитком національних економік, що розвиваються.

Завданнями, що вирішуються є:

- продовження дослідження еволюції систем інноваційних індикаторів в ЄС, розпочатого в попередніх публікаціях [2–5];
- виявлення еволюційних механізмів розвитку європейського економічного макрорегіону та ролі в них систем інноваційних індикаторів;
- визначення пропозицій з підтримки інноваційної діяльності, відповідних ранній еволюційній стадії розвитку економіки України.

Цілеспрямованого і послідовного дослідження ефективності впливу світових систем інноваційних індикаторів на економічний розвиток в Україні не здійснювалося. Зокрема й через це не було розроблено стратегій, які б спрямовували економічних політиків та підприємництво на досягнення конкретних цілей, відповідних природним механізмам та економічним законам розвитку. Водночас вийшли друком непоодинокі оглядові публікації з вивчення іноземного досвіду та здійснені спроби копіювання економічних політик європейців, азійців, американців тощо, що мали не зовсім вдалий результат.

Окремі важливі аспекти інноваційних індикаторів в різні часи розглядали М. Ворончук, О. Трофимчук, В. Соловійов, В. Кузьменко, І. Єгоров, І. Жукович, Ю. Рижкова, В. Чехун, В. Головатюк, В. Грига, С. Черненко, В. Найдюнов, А. Стояновський, В. Ляшенко, А. Землянкін, І. Підоричева, В. Мальцев, Г. Кореняко, І. Бортнік, В. Коцюбинський, А. Сорокіна та інші.

Однак жодний із названих авторів не досліджував питання економічної, зокрема інноваційної, політики в контексті внутрішньої консолідації макрорегіонів та синхронізації їх економічної динаміки. Тому проблема динаміки розвитку різноманітних систем індикаторів залишається актуальною, відкритою і потребує подальшого вивчення.

## **1. Еволюційно-економічне підґрунтя євроінтеграційних процесів**

Вважаємо за потрібне розпочати викладення матеріалу з висновків, сформульованих на основі результатів наших попередніх досліджень [1–6]:

– запровадження ефективної системи інноваційних індикаторів не вичерпує проблему належної інформаційної підтримки управління розвитком країн із ринками, що розвиваються;

– необхідно паралельно відслідковувати поточну економічну динаміку на предмет наближення валютно-фінансових криз з урахуванням загального рівня розвитку національної економіки, особливо її монетарної, валютної та фінансової сфер;

– необхідно також враховувати рівень безпеки [6, с. 24-25], визначений основними макроекономічними показниками та макроекономічними пропорціями і балансами, зокрема, в категоріях Системи національних рахунків (SNA);

– важливо враховувати реальні проблеми реалізації стратегії економічного розвитку, що спостерігаються в конкретній країні у поточний момент;

– якщо немає необхідності економічно об'єднати окремі території (країни), в стратегії інноваційного розвитку цілком можливо обійтися без системи інноваційних індикаторів; достатньо сформувати розвинене системне макроекономічне середовище та підтримувати його в рівноважному стані – воно виконає регулюючу функцію за рахунок процесів самоорганізації.

Зазначені результати задають контекст даної статті. Для окремої країни створення системи інноваційних індикаторів (СІ) має менше значення для моніторингу та управління інноваційними процесами, ніж вимірювання характеристик реальних ринкових механізмів, що ними керують. Особливо важливого значення набуває вимірювання показників, які відображають ринкові механізми макроекономічного рівня. Їхня більша за власне інноваційні індикатори важливість впливає з можливості вимірювання параметрів ринкових механізмів макроекономічного рівня (включно з їх аргументами і функціями), а також – відображення макроекономічних інструментів (бюджетно-фінансових, грошово-кредитних, валютних). Та це не означає, що припустимо нехтувати СІ. Вони можуть виконувати важливу інформаційну функцію зворотного зв'язку в частині оцінювання ефективності застосованих інструментів макроекономічної політики.

Водночас СІ набувають більшого значення для групи країн у разі їхнього об'єднання в економічний союз або в єдиний суверенний простір. Не менш важливого значення вони мають для глобальних порівнянь (знову ж таки – груп країн), із метою міжнародних співставлень перебігу процесу розвитку за окремими показниками, та спроб наближення рівнів розвитку окремих країн за певними показниками.

Тобто на національному рівні загалом можна обійтися показниками SNA.

Макроекономічні показники в стандартах SNA не дають інформації щодо ефективного розподілу фінансових ресурсів країни за інноваційними пріоритетами. Системи інноваційних індикаторів – теж ні. Але, спираючись на макроекономічні показники, ми отримуємо більш інформативну картину для ефективного управління економікою, оскільки вони безпосередньо виводять на макроекономічні інструменти управління розвитком певної країни, а системи інноваційних індикаторів – ні. Останні дають приблизну картину щодо певних проблем та досягнень, яка задовольняє потреби політиків у наочному порівнянні ситуації з іншими країнами, але для власне управління розвитком – недостатня. Для цього доводиться звертатися до макроекономічних та інституційних інструментів.

Макроекономічні показники для потреб моніторингу інноваційного розвитку доцільно компонувати в композитні індикатори. Причому слід брати до уваги, що на відміну від кризових випереджаючих, співпадаючих та запізнених композитних макроекономічних індикаторів, для інноваційних процесів вони всі матимуть лаги запізнення, а методи їх побудови матимуть суттєві відмінності для країн, що розвиваються, від розвинених країн.

До аналогічних висновків можна дійти й досліджуючи одну єдину європейську систему інноваційних індикаторів, але у контексті об'єднаних процесів.

Саме в такому контексті Європейське інноваційне табло (EIS) [7] розглядається як один з інструментів реалізації Лісабонської стратегії (2000 р.) [8] – стратегії європейського економічного об'єднання. Лісабонська стратегія та створення EIS

в її рамках знаменувало вже четверту стадію цього загального об'єднаного процесу європейських країн, який розпочався одразу після Другої світової війни. Тобто в Європі система інноваційних індикаторів використовується для групи країн, щоб їх об'єднати.

Через це система інноваційних індикаторів не могла з'явитися в одній країні, наприклад в США. США давно є єдиною країною, а ЄС все ще фрагментований. У США достатньо використовувати макроекономічне середовище та макроекономічні важелі, щоб ефективно управляти та моніторити інноваційні процеси. Натомість ЄС – група країн, там немає єдиного макроекономічного простору, тому Єврокомісії потрібні додаткові, допоміжні індикатори для синхронізації розвитку.

Система інноваційних індикаторів, що функціонувала спочатку як складова політичних інструментів європейської інтеграції, згодом увійшла в глобальний економіко-політичний простір як самостійний феномен. З причини того, що вона сподобалася політикам і чиновникам своєю наочністю. Значним недоліком такої «моди» на системи інноваційних індикаторів стало те, що вони вийшли з другорядного на перше місце в управлінні інноваційними процесами, посунувши на задній план показники економічних та макроекономічних інструментів і факторів. Цим була завдана шкода політичним зусиллям з підтримки розвитку, зокрема, і в розвинених країнах, що призвело до його пригальмовування.

Остання обставина вимагає застосування більш об'єктивного підходу до аналізу світових систем інноваційних індикаторів, ніж той, що сьогодні практикується.

## **2. Інноваційні індикатори в процесі європейської інтеграції**

Запровадження систем індикаторів інноваційного розвитку розпочалося в Європі на початку 2000-х рр. і швидко поширилося світом. Початковий політичний поштовх цього процесу було спрямовано на вирішення двоєдиної проблеми – керованого і скоординованого економічного розвитку економік Європи разом зі збереженням засад демократії в інноваційній політиці окремих країн. Через це європейські системи інноваційних індикаторів виконували й продовжують виконувати завдання директивного органу ЄС в частині економічного розвитку, водночас надаючи можливість кожній країні самостійно виконувати це завдання демократично, тобто – на власний суверенний розсуд.

Міжнародними організаціями почали розроблятися Глобальний індекс конкурентоспроможності (GCI) [9] Всесвітнього Економічного Форуму (одночасно з EIS), Індекс знаннєвої економіки (KEI) [10] Світового банку (з 2004 р.), Глобальний інноваційний індекс (GII) [11] Всесвітньої організації інтелектуальної власності (з 2007 р.) та інші. Знов-таки, вони актуальні для групи країн.

Але після 17 років використання системи інноваційних індикаторів успіх ЄС в інноваційному розвитку не дуже очевидний. Про це свідчать макроекономічні показники. Фінансування R&D (НДДКР) в об'єднаній Європі з усіх джерел за зазначеними в Європейському інноваційному табло (EIS) пріоритетами ледве перевищує 2% від ВВП ЄС, а темпи економічного зростання (цього ж ВВП) коливаються в межах 1,2%–1,5% з року в рік [12, р. 24]. Це наводить на думку про можливу помилку, неефективне використання коштів, а, можливо, й про неправильно визначені пріоритети (зокрема в системі індикаторів). Складається



враження, що темпи економічного зростання об'єднаної Європи досягаються не за рахунок прибуткової реалізації інновацій, а за рахунок фінансування науки (зокрема грантового). Це стосується й спільних програм фінансування наукових досліджень проблем розвитку ЄС, таких як 9 Н 2020.

І це, на наш погляд, закономірно. Система інноваційних індикаторів в європейській економіці є інструментом не стільки інноваційного розвитку, скільки інструментом вимірювання зближення економічного розвитку країн ЄС. Оскільки індикатори не можуть бути факторами економічного зростання. Факторами економічного зростання є накопичення капіталу (в інноваційному секторі економіки), зростання чисельності населення, зростання якості людського капіталу (в тому числі науки, освіти), інновації (зокрема, науково-технічний прогрес). А економічне зростання вимірюється макроекономічним показником реального ВВП.

Тому єдиним достатньо науково обґрунтованим приводом для запровадження і розвитку системи інноваційних індикаторів ЄС стало їх використання для управління інтеграційними процесами.

Побудові системи інноваційних індикаторів в Європі (4-й етап інтеграції – з 2002 р.) передував процес об'єднання в єдиний валютний союз (3-й етап інтеграції – 1999-2002 рр.), а йому, у свою чергу, – маастрихтський процес (2-й етап інтеграції – 1992-1999 рр.) як складова загального об'єднаного процесу, розпочатого після Другої світової війни. Маастрихтському процесу передував післявоєнний процес створення «Спільного ринку» (1-й етап інтегрування – 1946-1992 рр.). Зазначена стадійність є відображенням розгортання в часі єдиного природного об'єднаного процесу.

Для появи індикаторів інноваційного розвитку ЄС особливо важлива завершальна фаза об'єднаного процесу – останні роки після підписання Маастрихтської угоди, коли визначилися так звані «три колони» – основні напрями об'єднання (наднаціональні інститути і спільноти, спільна зовнішня і безпекова політика, співробітництво у сферах юстиції та внутрішніх справ) [13] і розпочався вихід на четвертий та п'ятий рівні економічної інтеграції.

На цьому етапі конвергенція мала суто макроекономічне спрямування – зближення за загальноекономічним рівнем та досягнення певних значень макропоказників національних фінансових систем, відповідних копенгагенським критеріям економічного і монетарного союзу.

Ці показники виявилися першими індикаторами зближення економічного розвитку країн, які стали певною інновацією у світовому розвитку. Вже минув тривалий час, вони виконали покладену на них місію. Здається, їх можна було б забути. Але вони й досі використовуються країнами світу, тепер вже в якості показників економічної безпеки [6, с. 166-167; 18, с. 51-52] під час укладання договорів, оцінки ризиків країн рейтинговими агенціями, вийшовши далеко за межі Маастрихтської угоди [13].

Йдеться про копенгагенські критерії [14] – макроекономічні показники рівнів, зокрема: дефіциту бюджету до ВВП ( $\leq 2-3\%$ ); державного боргу до ВВП (до 60%); базових рівнів інфляції – не більше 2% (не має перевищувати на 1,5% середній рівень інфляції трьох країн союзу із найменшою інфляцією); довгострокові відсоткові ставки – не мають перевищувати на 2% такі в трьох країнах об'єднаного процесу з найменшою інфляцією; безробіття – до 6%; ВВП – не менше \$11 тис. на душу населення; валюта не повинна девальвувати протягом двох років і має

коливатися в межах 2,25% тощо. Рівні безробіття та ВВП на душу населення не є копенгагенськими критеріями, але визначаються ними як індикатор їх досягнення.

Перехідний період до монетарного союзу євро тривав три роки, запровадження євро також відбулося не водночас, а розтяглося на три роки. Лише на четвертій стадії було передбачено зближення за рівнем інноваційного розвитку (Лісабонською стратегією, 2000 р. [15, с. 5]). Ось чому без урахування контексту конвергенції неможливо адекватно зрозуміти соціально-економічний зміст європейських інноваційних індикаторів та інтегральних індексів [14, 7, 16].

Макроекономічне спрямування об'єднавчої політики, на наш погляд, виконало дуже важливу функцію «синхронізації» економічних систем не тільки в економічному розвитку. Певні показники, такі як рівні інфляції, безробіття, дефіциту держбюджету та зниження волатильності валютного курсу для досягнення встановлених значень, неможливо досягти без синхронізації фінансової дисципліни одночасно в усіх країнах. Рівень дисциплінованості та принципи дисципліни в суспільствах різних країн відрізняються, оскільки впливають з різних культурних субстратів. Вони пов'язані із різними цивілізаційними гуманітарними особливостями і впливають на «вартість» реформ. Досягнення певних (зокрема макроекономічних) показників неможливо без гуманітарної перебудови суспільства в цілому, принаймні його еліти. Як показали економічні результати, це завдання не вдалося повною мірою вирішити в Греції, Італії, Португалії, Іспанії. Ця обставина негативно впливає на стан і розвиток сучасної банківської системи в зазначених країнах.

Для подолання цих труднощів усім країнам ЄС було призначено певний термін. Наприклад, через наявність «слабкої ланки» (країн «візантійської» Європи – Греції, «латинської» Європи – Італії, Іспанії, Португалії) на час об'єднання дозволялося мати дефіцит держбюджету до 3%, хоч загальноприйнятим критерієм економічної безпеки вважається дефіцит до 2% від ВВП, досягти якого було можливо лише представникам «сильної», протестантської Європи [14]. Процес досягнення цих та інших визначених макроекономічних показників став першим кроком до економічного об'єднання Європи. Лише після цього розпочалися наступні стадії економічного інтегрування – перехід на євро та створення економічних наднаціональних структур європейських країн. Тобто, якщо дотримуватися європейського досвіду зближення з ЄС, економіці, що розвивається, неприпустимо ігнорувати макроекономічні показники в інноваційній політиці.

Певний набір макроекономічних показників залишився чинним орієнтиром і після створення європейського валютного союзу. Зокрема, це стосується значень інфляції, дефіциту бюджету, державного боргу, рівнів доходів на душу населення та безробіття. Даний факт є ознакою адекватного врахування європейськими політиками визначальної ролі стану макроекономічного середовища, залежного від рівня розвитку економічних систем та рівня соціальних стандартів. Нехтування цим неодмінно спричинило б ризики фінансового дисбалансу та втрат, які б унеможливили отримання позитивних результатів від спільної інноваційної діяльності. Тому запровадження індикаторів моніторингу інноваційної діяльності відбулося тільки по закінченні макроекономічної гармонізації країн ЄС, об'єднання європейських країн у Союз та досягнення консенсусу з інноваційної стратегії.

Змістом наступної стадії європейської економічної інтеграції стала започаткована Лісабонською стратегією об'єднавча політика ЄС вже на інноваційній основі. В рамках її реалізації розпочалося формування інноваційних платформ та економіки знань із акцентом на навчання протягом всього життя [8].

На цій стадії були визначені цілі та завдання, створені й апробовані інструменти «інноваційного» об'єднання європейських країн, зокрема індикатори Інноваційного табло. Запуск такого табло на національному та регіональному рівнях у всіх 27 країнах ЄС став початком переходу до інноваційної інтеграції – четвертої стадії економічної інтеграції.

На цьому етапі яскраво виявилися європейські традиції християнської етики та поваги до людини і суверенітету країн. Визначені індикатори інноваційного зближення не висували жодних адміністративних чи законодавчих вимог. Країни мали самі вирішувати, яким чином і в якому темпі досягати вирівнювання між ними в межах зазначених індикаторів. Єдиною вимогою була єдність мети розвитку, оформлена домовленістю про прийняття спільної стратегії в Лісабоні та наступних стратегій, що її доповнювали.

Концепція навчання протягом життя, що випливала з Лісабонської стратегії, передбачала досягнення консенсусу в розумінні змісту перетворень у процесі такого навчання з метою спільної узгодженості інтеграційних зусиль. Звідси – урок для України: необхідно хоча б у експертному середовищі досягти належного усвідомлення гуманітарного змісту як основи європейської економічної та інноваційної політики.

Наші дослідники [17] зазвичай ігнорують цю ключову обставину, пропонуючи просто запозичити сучасні європейські індикатори та політику, оминувши всі попередні етапи євроінтеграційної гармонізації. Але намагання прискореними темпами запровадити орієнтири інноваційного табло європейського типу без попереднього досягнення першої стадії зближення (певних значень макроекономічних показників) закономірно призведе до передчасного стимулювання ліберальної моделі політики без необхідного перехідного періоду, що може стати причиною зростання загроз ризиків від економічної нестабільності.

На такі загрози центральні банки, як правило, реагують запровадженням рестриктивної (обмежувальної) монетарної політики з метою стримування інфляції. Але така політика неминуче викликає зростання відсоткових ставок, що запускає процеси пригнічення і згортання малого та середнього бізнесу, гальмування промислового розвитку. Тобто саме того, чого свідомо уникали європейці, здійснюючи поступову, зважену політику.

Розуміючи проблеми та виклики, які виникали на шляху об'єднавчого процесу, вони створювали інструменти та методи їхнього подолання, ефективно контролювали процес, не шукали іноземні аналоги для запозичення, але вирішували проблеми, концентруючи зусилля на них. Головним орієнтиром для цього були їхні власні (європейські) культурні особливості, які й обумовили появу унікальної системи індикаторів інноваційного розвитку – Інноваційного табло. Це стало черговим доказом усвідомлення важливості ролі саморегулювання як альтернативи адміністративно-командному регулюванню у формуванні загальних міжнародних стандартів.

### 3. Розвиток української економіки у дзеркалі інноваційних індикаторів

Стан національної економіки та інноваційної діяльності в Україні на рівні міжнародних порівнянь об'єктивно відображається макроекономічними показниками. Зокрема, ВВП на душу населення у 2018 році становив \$3 тис. Для порівняння, на момент входження країн в ЄС, у всіх них, крім Греції, цей показник перевищував \$11 тис.; сьогодні його значення у країнах ОЕСР становить в середньому \$12,4 тис. (це є мінімальним рівнем для визнання економіки розвиненою). Поточні відсоткові ставки в Україні перебувають на рівні 20%. Для порівняння, в країнах ЄС на момент входження у валютний союз відсоткові ставки не перевищували, як вже згадувалося, 2% за природного рівня інфляції.

Із такими значеннями показників ВВП на душу населення та відсоткових ставок можна констатувати слабкість, практичну відсутність інноваційних процесів в економіці України. Водночас за такими системами індикаторів, як Глобальний індекс конкурентоспроможності (GCI) і Глобальний інноваційний індекс (GII), а також за Європейським інноваційним табло (EIS), позиція України не настільки низька.

Зокрема, в період 2015-2018 рр. (лаг затримки даних перетворює цей період на 2013-2016 рр.) в Україні спостерігалось істотне поліпшення позиції за загальним інноваційним індексом GII на понад 30% (з 64-ї до 43-ї позиції в рейтингу) за рахунок понад 25% приросту субіндексу інноваційного результату (з 47-ї до 35-ї позиції) та понад 10% приросту субіндексу інноваційних вкладень (з 84-ї до 75-ї позиції). Найбільше поліпшилася позиція за тематичними субіндексами витонченості бізнесу та креативної продукції (на понад 40%), дещо менше – за субіндексами виробництва знань і технологій та інфраструктури (на понад 20%). Найвищі рейтинги у 2018 р. (фактично – у 2016 р.) Україна має за виміром виробництва знань і технологій (27) та субіндексом інноваційного результату (35). Причому Україна вже 4 роки зберігає світове лідерство за індексом «заявки на корисні моделі за походженням», що, на нашу думку, має доволі опосередковане відношення до власне інноваційної діяльності, хоч може бути ознакою дифузії інновацій.

Водночас не змінилася позиція за субіндексом розвитку ринків та помітно погіршилася (від'ємний приріст) за субіндексами людського капіталу і досліджень (майже на 20%, з 36-го на 43-тє місце) та інститутами (майже на 10%, з 98-го на 107-ме місце). Погіршення стану інститутів відбулося здебільшого за виміром політичного середовища (індикатор політична стабільність і безпека), що очікувано у воюючій країні, але погіршення стану людського капіталу – за надзвичайно важливими для довгострокових перспектив розвитку вимірами науково-дослідного сектору (валові витрати на НДДКР, кількість дослідників) та базової освіти (тривалість навчання, витрати на освіту), що не скомпенсоване певним поліпшенням за виміром вищої освіти (приріст позиції понад 15%). Найнижчі рейтинги у 2018 р. (фактично – у 2016 р.) Україна має за вимірами інститутів (107), розвитку ринків (89), особливо – інвестування (115), та інфраструктурою (89), особливо – екологічної збалансованості (115), зокрема енергоємності ВВП (113) [11, с. 335; 20, с. 292]. Така ситуація типова для більшості економік на ранніх стадіях еволюції. Особливістю України є збереження моделі доволі ефективної економічної експлуатації залишкового науково-технічного (інноваційного) потенціалу, успадкованого від радянських часів, без достатніх вкладень у його хоча б просте відтворення.

В період 2015-2018 рр. (фактично – за 2013-2016 рр.) в Україні спостерігалось незначне погіршення позиції за загальним індексом конкурентоспроможності GCI (від'ємний приріст) на понад 5%, дещо більше погіршення – за субіндексом інновацій (на понад 7%). Найбільше зниження позиції відбулося за субіндексами освіти/кваліфікації (на понад третину) та ринку праці (на понад 17%). Тобто останніми роками найшвидше деградує основний ресурс країни – людський капітал.

Водночас значно поліпшилася позиція України за субіндексами товарних ринків (на понад 30%), інфраструктури (на понад 17%) та інститутів (на понад 15%). Однак поліпшення позиції за субіндексами розвитку бізнесу, фінансової системи та макроекономічного середовища виявилось незначним (на понад 5%, 3% і 2%, відповідно). Причому найнижчі рейтинги у 2018 р. (фактично – у 2016 р.) Україна має саме за макроекономічною стабільністю (131), фінансовою системою (117), а також – інститутами (110), хоч з останніми ситуація помітно поліпшилася [9, с. 575-577; 19, с. 354-355].

Такі значення оцінки стану і динаміки економіки України за рейтингами GCI черговий раз констатують, що вона перебуває на ранній стадії еволюції в групі країн, що розвиваються, і що темпи цього розвитку низькі, супроводжуються глибокими спадами за багатьма напрямками й недостатні для розширення попиту на інновації.

Згідно з даними звіту Європейського інноваційного табло EIS-2018 у період 2010-2017 рр. (фактично за 2008-2015 рр.) в Україні спостерігалися незначні зміни сумарного інноваційного індексу (SII) із тенденцією до його зниження в останні роки (з 31% до 28% від середньоєвропейського рівня). У ці 8 років відбувся значний приріст оцінки за тематичними субіндексами: людські ресурси (вдвічі, але це лише за єдиним забезпеченим даними показником «присвоєння нових докторських ступенів», що недостатньо репрезентативно), інтелектуальні активи (на майже 70%), науково-дослідна система (на понад 20%), вплив на зайнятість (на понад 10%). Причому лише за людськими ресурсами ситуація у 2017 р. (фактично – у 2015 р.) перебувала на середньоєвропейському рівні, а за впливом інноваційної діяльності на зайнятість – наближалася до нього.

Водночас маємо суттєве зниження оцінки за субіндексами: корпоративні інвестиції (на понад третину), фінансування (на понад 30%), вплив на продажі (на понад 25%), співробітництво (на понад 20%), інноватори (на понад 10%). І незначне – за субіндексом дружнє середовище (менше ніж на 4%). За відхиленнями від середньоєвропейських значень у 2017 р. (фактично – у 2015 р.) найгірша ситуація спостерігалася за вимірами: дружнє до інновацій середовище (менше 5% від середнього по ЄС рівня), співробітництво (менше 10%), інтелектуальні активи (менше 15%), фінансування і підтримка (15%), інноватори (особливо стартапи) та науково-дослідна система (обидва менше 20%) [16, с. 85]. Логічно, що саме на розвиток цих напрямів має бути першочергово спрямована інноваційна політика нашої держави в контексті євроінтеграційних зусиль.

Глобальний індекс конкурентоспроможності (GCI) розраховується на основі 98 показників за 12 тематичними групами (субіндексами): інститути, інфраструктура, впровадження ІКТ, макроекономічна стабільність (макроекономічне середовище), здоров'я, освітньо-кваліфікаційний рівень (навички), ринок товарів, ринок праці (робочої сили), фінансова система, розмір ринку, динамічність бізнесу, інноваційна спроможність (інновації) [9, с. 2; 19, с. 6].

Глобальний інноваційний індекс (ГІІ) розраховується на основі 80 показників за 7 тематичними групами: інститути (політичне, регуляторне, бізнесове середовища), людський капітал і дослідження (освіта, вища освіта, науково-дослідний сектор), інфраструктура (ІКТ, загальна інфраструктура, екологічна збалансованість), розвиток ринків (кредит, інвестування, торгівля, конкуренція і розмір ринку), витонченість бізнесу (освіченість працівників, інноваційні взаємодії, залучення знань), виробництво знань і технологій (створення знань, вплив знань, поширення знань), креативна продукція (нематеріальні активи, креативні товари та послуги, Інтернет-творчість) [11, с. 16; 20, с. 9].

Сумарний інноваційний індекс (SII) Європейського інноваційного табло розраховується на основі 27 показників за 10 тематичними групами: людські ресурси, приваблива науково-дослідна система, дружнє до інновацій середовище, фінансування і підтримка, корпоративні інвестиції (бізнес-сектора), інноватори (малі і середні підприємства, що здійснюють інновації), співробітництво (зв'язки), інтелектуальні активи, вплив на зайнятість, вплив на продажі [16, с. 8]. У звітах EIS найпоєднованіше реалізований підхід до міжнародних порівнянь з метою підвищення рівнів інноваційного розвитку периферійних країн до середнього по ЄС. Через це характеристика інноваційної ситуації по країнах-членах, країнах-сусідах і деяких інших подається відносними показниками частки нормованих значень індикаторів, субіндексів та сумарного індексу цих країн до відповідних середніх значень по ЄС (у %). Для відображення динаміки ситуації використовуються прирости (також у %) саме цих відносних показників.

Для оцінки власне тенденцій розвитку слід враховувати динаміку (прирости) цих показників – їх «натуральних» або нормованих (у інтервалі 0-100) значень, відношень до середнього чи позиції в рейтингу за композитними індексами, тематичними субіндексами, окремими індикаторами. Такі оцінки можуть бути отримані для української економіки у полі названих систем індикаторів вже за декілька років.

#### **4. Пропозиції для України**

Найбільшим викликом для переходу на інноваційний шлях розвитку української економіки є подолання її еволюційного відставання від розвинутих країн. Ліквідація розриву в економічному і соціальному розвитку ускладнюється через «зачароване коло» слабкої економіки – брак необхідних ресурсів спричиняється браком інноваційної продукції. Щоб розірвати це коло, необхідна стратегія інноваційного розвитку, яка б одночасно слугувала й антикризовою стратегією.

Для забезпечення її дієвості та ефективності важливо розподілити стратегію на етапи з чітко визначеними значеннями макроекономічних показників для кожного з етапів, аналогічно тому, як це здійснювалося в Європі під час зближення рівнів розвитку країн за копенгагенськими критеріями з метою відновлення порушених макроекономічних пропорцій.

В антикризовій стратегії особливу увагу доцільно приділити: реструктуризації державного боргу на умовах, які відповідатимуть інтересам України; доступ до боргових інструментів внутрішньої позики, до ОДВП, варто надати лише резидентам; припливам та відпливам вільних капіталів.

Важливо розуміти значення макроекономічних пропорцій. Лише досягнення їх [6, с. 24], на певних проміжних етапах, даватиме бажаний приріст ВВП, що перевищуватиме 7-відсотковий рубіж.

Маємо пройти підготовчий період, протягом якого реалізувати заходи з вирівнювання структури економіки та досягнення значень макроекономічних показників, наближених до маастрихтських вимог, особливо стосовно рівнів інфляції, безробіття, державного дефіциту, боргу та доходів на душу населення. Крім того, має бути поширена макроекономічна культура, основу якої становлять норми протестантської етики, притаманної англо-саксонській, зокрема фінансово-банківській, культурі, а також – європейські принципи самоорганізації та самодисципліни, засновані на моральних засадах Е. Канта [21] та неостоїцизму.

Неможливо застосування однакового інформаційного інструментарію на різних стадіях розвитку національних економічних систем. Це підтвердило наше дослідження індикаторів наближення соціально-економічних та валютно-фінансових криз. Як і у випадку з інноваційними індикаторами, спроби застосування прогностичних показників і методів, використовуваних в розвинених країнах Європи та світу, виявилися невдалими через структурну недосконалість економіки України та її інституційного середовища. Тобто через перебування на різних стадіях розвитку і необхідність контролю за вирішенням різних завдань [18, с. 103].

Для забезпечення найбільш соціально прийнятної та економічно продуктивної входження в європейський інноваційний простір доцільно обрати стратегію природної інтеграції з ним. Вона полягає в проходженні у пришвидшеному темпі всіх необхідних стадій еволюційного розвитку, який вже пройшли розвинені країни світу (в досягненні всіх поставлених цілей на кожній із стадій). Перелік показників-індикаторів для кожної стадії задає цільові орієнтири, які необхідно досягти у певній послідовності для гармонійного входження у європейський простір та активізації інноваційних процесів.

Подальшого дослідження у цьому напрямі потребує розроблення системи індикаторів для економіки України із урахуванням проблем, що стоять перед її економікою, а також – європейського і світового досвіду.

## **Висновки**

1. Системи індикаторів, зокрема інноваційних, виконують функцію компенсації недостатньо розвинутого макроекономічного середовища у більшості національних економік світу.

2. Відповідно, склад системи інноваційних індикаторів має враховувати стан розвитку національної економіки, визначений основними макроекономічними показниками, стійке досягнення певних порогових значень яких сигналізує про можливість необоротного переходу до наступних етапів розвитку.

3. У більшості систем індикаторів не розрізняються типи інновацій за масштабом (базові, радикальні, поліпшуючі) та змістом (продуктові, технологічні, організаційні та маркетингові). Фінансові інновації взагалі не враховуються. На макrorівні останні відображені певними значеннями показників Системи національних рахунків (SNA) та платіжного балансу.

4. Розвиток інноваційних процесів в Україні на міжнародному рівні сьогодні відображений трьома системами індикаторів, розроблених поза її межами і без урахування її специфіки: Глобальний інноваційний індекс (GII), Глобальний індекс конкурентоспроможності (GCI), Європейське інноваційне табло (EIS).

5. Україна перебуває на початковому етапі еволюції економічної системи, що ілюструється низьким рівнем ВВП на душу населення, високими відсотковими

ставками, проблемами із зовнішнім боргом; а також – її низькою позицією за: композитним індексом GCI (за вимірами макроекономічної стабільності, фінансової системи та інститутів), субіндексом інноваційних вкладень ГПІ (за вимірами інститутів, розвитку ринків, інвестування, інфраструктури) та сумарним інноваційним індексом EIS. В останні роки намітилася тривожна для інноваційного розвитку тенденція погіршення людського капіталу.

6. Фундаментальною перешкодою для активізації інноваційної діяльності в Україні є недостатній розвиток фінансової системи та ринкового інституціоналізму. Тому першими пріоритетами на поточному етапі розвитку національної економіки є вирішення завдань удосконалення саме фінансових інститутів підтримки інновацій, а також – переорієнтації безпекових функцій держави на протидію найбільш потужним і небезпечним проявам опору інноваціям з боку суспільного традиціоналізму, підтримуваного крупним капіталом, пов'язаним з низькоукладною економікою.

7. По завершенні етапу наближення економіки України до значень макроекономічних показників, які встановив для своїх членів ЄС, доцільно розробити систему індикаторів зближення з європейською інноваційною системою. Наступний етап інтегрування відкриє можливість досягнення вищих рівнів стандартів розвитку, виміряних системами світових індикаторів. У процесі наближення до європейських соціально-економічних стандартів доцільно врахувати передусім досвід успішних азійських країн, що швидко розвиваються, особливо Південної Кореї та Китаю.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Макаренко І.П., Копка П.М., Рогожин О.Г., Кузьменко В.П. Національна інноваційна система України: проблеми і принципи побудови. За наук. ред. І.П. Макаренка. Київ: Інститут проблем національної безпеки, 2007. 520 с. – укр.; англ.: іл.
2. Копка П.М., Макаренко І.П., Рогожин О.Г. Современный кризис инновационной политики. Зб. праць XII Міжнародної науково-практичної конференції на тему: “Проблеми й перспективи інноваційного розвитку економіки” 10-15 вересня 2007 р. в м. Скадовську. Херсон, 2007. С. 445-449.
3. Макаренко І.П., Рогожин О.Г. Особливості організації науково-аналітичної діяльності в НІС країн світу. Науково-технічна інформація. 2010. №1(43). С. 7-13.
4. Макаренко І.П., Рогожин О.Г., Соловйов В.П. Моніторинг інноваційної діяльності в азійських країнах: уроки для України. Наука та наукознавство. 2016. №1(89). С. 55-62.
5. Макаренко І.П., Рогожин О.Г. Світові тенденції розвитку систем інноваційних індикаторів. Математичне моделювання в економіці. 2017. №1-2(8). С. 141-158.
6. Макаренко І.П. Макроекономічні умови формування та управління розвитком національних інноваційних систем (Анатомія економічних криз). Київ: Інтертехнологія, 2009. 320 с.
7. European Innovation Scoreboard 2007. Comparative analysis of innovation performance. February 2008. UNU-MERIT, Institute for the Protection and Security of the Citizen of the European Commission. Режим доступу: [https://www.ipeg.com/\\_UPLOAD%20BLOG/European\\_Innovation\\_Scoreboard\\_2007.pdf](https://www.ipeg.com/_UPLOAD%20BLOG/European_Innovation_Scoreboard_2007.pdf)
8. Lisbon European Council 23 and 24 March 2000. Presidency Conclusions, Council of European Union. Brussels, 23 March 2000. 14 p.
9. The Global Competitiveness Report 2018, World Economic Forum, Geneva. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2018>
10. Knowledge Economy Index (KEI) 2012 Rankings. Режим доступу: [www.worldbank.org/kam](http://www.worldbank.org/kam)



11. The Global Innovation Index 2018: Energizing the World with Innovation. Ithaca, Fontainebleau, and Geneva. Електронний ресурс. Режим доступу: [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_gii\\_2018.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2018.pdf)
12. World Economic Outlook: Growth Slowdown, Precarious Recovery. April 2019. Електронний ресурс. Режим доступу [<https://www.imf.org/~media/Files/Publications/WEO/2019/April/English/text.ashx?la=en>]
13. Маастрихтський договір (Treaty on European Union). Електронний ресурс. Режим доступу: [https://europa.eu/european-union/sites/europa.eu/files/docs/body/treaty\\_on\\_european\\_union\\_en.pdf](https://europa.eu/european-union/sites/europa.eu/files/docs/body/treaty_on_european_union_en.pdf)
14. ЕС. Пакт про стабільність і зростання: Копенгагенські критерії конвергенції країн Європи в економічний та монетарний союз. Режим доступу: [http://europa.dovidka.com.ua/p.html#\\_Stability\\_and\\_Growth](http://europa.dovidka.com.ua/p.html#_Stability_and_Growth);  
[http://europa.dovidka.com.ua/k.html#\\_Точ90362276](http://europa.dovidka.com.ua/k.html#_Точ90362276).
15. Оржель О. Територіальний вимір згуртування ЄС. Регіональне управління та місцеве самоврядування. Вісник Національної академії державного управління. 2011. №3. С. 151-158. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://visnyk.academy.gov.ua/wp-content/uploads/2013/11/2011-3-23.pdf>
16. The European Innovation Scoreboard 2018. European Commission. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/33147>
17. Єгоров І.Ю., Жукович І.А., Рижкова Ю.О. Науковий та інноваційний потенціал України в міжнародних статистичних порівняннях. Київ: ДП «Інформ.-аналіт. агентство», 2010. 156 с.
18. Макаренко І.П., Найдьонов В.С., Рогожин О.Г., Петраков Я.В. Сценарно-поетапна модель валютно-фінансових криз: системи індикаторів. Київ: ПП «НВЦ «Профі», 2014. 184 с.
19. The Global Competitiveness Report 2015–2016: Full Data Edition, World Economic Forum, Geneva. Режим доступу: [http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global\\_Competitiveness\\_Report\\_2015-2016.pdf](http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global_Competitiveness_Report_2015-2016.pdf)
20. The Global Innovation Index 2015: Effective Innovation Policies for Development, Fontainebleau, Ithaca, and Geneva. 418 р. Режим доступу: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/>
21. Кант, Иммануил. Основы метафизики нравственности. Режим доступу: [http://anna-ganzha.narod.ru/kant\\_omn\\_fr.pdf](http://anna-ganzha.narod.ru/kant_omn_fr.pdf)

## REFERENCES

1. Makarenko I.P., Kopka P.M., Rogozhin O.G., Kuzmenko V.P. (2007) National innovation system of Ukraine: problems and keystones of its construction. Scien. edit. I.P. Makarenko. Kyiv: Institute of National Security Problems, 520 p. – ukr.; engl.
2. Kopka P.M., Makarenko I.P., Rogozhin O.G. (2007) Sovremenniy kryzys ynnovatsyonnoi polytyky [Modern Crisis of Innovation Policy] / Zb. prats XII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii na temu: "Problemy u perspektyvy innovatsiinoho rozvytku ekonomiky" 10-15 veresnia 2007 r. v m. Skadovsku; Kherson [Works of the XII International Scientific and Practical Conference on "Problems and Prospects for Innovative Economic Development" September 10-15, 2007 in Skadovsk; Kherson], 445-449. (In Russian)
3. Makarenko I.P., Rogozhin O.G. (2010) Osoblyvosti orhanizatsii naukovo-analytychnoi diialnosti v NIS krain svitu [Organization features of scientific and analytical activities in the NIS of the world]. Naukovo-tekhnichna informatsiia [Scientific and Technical Information], N1(43), 7-13. (In Ukrainian)
4. Makarenko I.P., Rogozhin O.G., Solovyov V.P. (2016) Monitorynh innovatsiinoi diialnosti v aziiskykh krainakh: uroky dlia Ukrainy [Monitoring of innovation in Asian countries: lessons for Ukraine]. Nauka ta naukoznavstvo [Science and Science of Science], N1(89), 55-62. (In Ukrainian)

5. Makarenko I.P., Rogozhin O.G. (2017) Svitovi tendentsii rozvytku system innovatsiinykh indyktoriv [World trends of the systems of innovation indicators development]. Matematychni modeliuvannia v ekonomitsi [Mathematical modeling in economy], N1-2(8), 141-158. (In Ukrainian)
6. Makarenko I.P. Makroekonomichni umovy formuvannia ta upravlinnia rozvytkom natsionalnykh innovatsiinykh system (Anatomiia ekonomichnykh kryz) [Macroeconomic preconditions of national innovation systems forming and management (Anatomy of economic crises)]. Kyiv: Intertechnologia, 320 p. (In Ukrainian)
7. EIS (2007): European Innovation Scoreboard 2007. Comparative analysis of innovation performance. February 2008. UNU-MERIT, Institute for the Protection and Security of the Citizen of the European Commission. Retrieved from: [https://www.ipeg.com/\\_UPLOAD%20BLOG/European\\_Innovation\\_Scoreboard\\_2007.pdf](https://www.ipeg.com/_UPLOAD%20BLOG/European_Innovation_Scoreboard_2007.pdf)
8. Lisbon European Council 23 and 24 March 2000. Presidency Conclusions, Council of European Union, Brussels, 23 March 2000, 14 p.
9. WEF (2018): The Global Competitiveness Report 2018, World Economic Forum, Geneva. Retrieved from: <http://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2018>
10. Knowledge Economy Index (KEI) 2012 Rankings. Retrieved from: [www.worldbank.org/kam](http://www.worldbank.org/kam)
11. Cornell University, INSEAD, and WIPO (2018): The Global Innovation Index 2018: Energizing the World with Innovation. Ithaca, Fontainebleau, and Geneva. Retrieved from: [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_gii\\_2018.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2018.pdf)
12. IMF (2019): World Economic Outlook: Growth Slowdown, Precarious Recovery. April 2019. Retrieved from: <https://www.imf.org/~media/Files/Publications/WEO/2019/April/English/text.ashx?la=en>
13. Treaty on European Union. Retrieved from: [https://europa.eu/european-union/sites/europa.eu/files/docs/body/treaty\\_on\\_european\\_union\\_en.pdf](https://europa.eu/european-union/sites/europa.eu/files/docs/body/treaty_on_european_union_en.pdf)
14. EC. The Stability and Growth Pact: Copenhagen Criteria for the Convergence of European Countries into an Economic and Monetary Union. Retrieved from: [http://europa.dovidka.com.ua/p.html#\\_Stability\\_and\\_Growth](http://europa.dovidka.com.ua/p.html#_Stability_and_Growth); [http://europa.dovidka.com.ua/k.html#\\_Toc90362276](http://europa.dovidka.com.ua/k.html#_Toc90362276).
15. Orzhel' O. Terytorial'nyy vymir zhurtuvannya ES [The territorial dimension of the rallying the EU]. Rehional'ne upravlinnya ta mistseve samovryaduvannya. Visnyk Natsional'noyi akademiyi derzhavnoho upravlinnya. [Bulletin of the National Academy of Public Administration], 2011. N3. 151-158. Retrieved from: <http://visnyk.academy.gov.ua/wp-content/uploads/2013/11/2011-3-23.pdf> (In Ukrainian)
16. EC (2018): The European Innovation Scoreboard 2018. European Commission. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/33147>
17. Yehorov I.Yu., Zhukovych I.A., Ryzhkova Yu.O. (2010). Naukovi ta innovatsiyni potentsial Ukrainy v mizhnarodnykh statystychnykh porivnianniakh [Scientific and innovative potential of Ukraine in international statistical comparisons]. Kyiv: DP «Inform.-analit. ahentstvo», 156 p. (In Ukrainian)
18. Makarenko, I.P., Naidimov V.S., Rogozhin O.G., Petrakov Y.V. (2014) Stsenarno-poetapna model valiutno-finansovykh kryz: systemy indyktoriv [Scenario-staged model of currency and financial crises: indicator systems]. Kyiv: PP «NVTС «Profi», 2014, 184 p. (In Ukrainian)
19. WEF (2016): The Global Competitiveness Report 2015–2016: Full Data Edition, World Economic Forum, Geneva. Retrieved from: [http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global\\_Competitiveness\\_Report\\_2015-2016.pdf](http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global_Competitiveness_Report_2015-2016.pdf)
20. Cornell University, INSEAD, and WIPO (2015): The Global Innovation Index 2015: Effective Innovation Policies for Development. Fontainebleau, Ithaca, and Geneva, 418 p. Retrieved from: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/>
21. Kant Immanuel. Osnovi metafiziki npravstvennosti [Fundamentals of Metaphysics of Morality]. Retrieved from: <http://www.philosophy.ru/library/kant/omn.html> (In Russian)

*Стаття надійшла до редакції 11.02.2019.*

РЕФЕРАТИ / ABSTRACTS

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ**  
**INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY**

---

УДК 316.422.44

**Методи оцінки та формування стратегії розвитку національних наукових досліджень і розробок** / Горбулін В.П., Полумієнко С.К., Трофимчук О.М. // Математичне моделювання в економіці. – 2019. – № 2. – С. 5–20.

Розглядається проблема аналізу стану та ефективності використання науково-технологічних ресурсів, тобто діяльності у сфері досліджень та розробок. Вирішення проблеми пропонується на основі побудови відповідної системи індикаторів стану науково-технологічних ресурсів. Запропоновано та проаналізовано 24 базових індикатори стану сфери досліджень і розробок. Ці індикатори відображають всі аспекти наукової діяльності та характеризують фінансування наукової діяльності, ефективність використання нерухомого майна наукових установ, публікацію наукових результатів, в тому числі публікацію в наукометричних виданнях та окремі оцінки її необхідності тощо. Вводиться інтегральний індекс стану сфери досліджень та розробок, який визначається на основі введених базових індикаторів та фокусується на ефективності використання різнобічних науково-технологічних ресурсів. Пропонується підхід до визначення стратегій розвитку національних науково-технологічних ресурсів.

UDC 316.422.44

**Methods of estimation and formation of the strategy of development of national scientific researches and developments** / Horbulin V.P., Polumiienko S.K., Trofymchuk O.M. // Mathematical modeling in economy. – 2019. – No. 2. – P. 5–20.

The problem of analysis of the state and effectiveness of the use of scientific and technological resources, i.e. activities in the field of research and development, is considered. The proposed solution of the problem is based on the construction of an appropriate system of indicators of the state of scientific and technological resources. There have been proposed and analyzed 24 basic indicators of the state of research and development sphere. These indicators reflect all aspects of scientific activity and characterize the financing of research and development, the efficiency of use of the property of scientific institutions, publication of scientific results, including publication in indexed scientific journals and separate assessments of its necessity, etc. An integral index of research and development sphere state is introduced, which is determined on the basis of the introduced indicators and focuses on the efficiency of the use of diversified scientific and technological resources. The approach to the determination of strategies for the development of national scientific and technological resources is proposed.

УДК 517.3;532.5

**Засоби комп'ютерного моделювання в галузі обчислювальної гідродинаміки** / Голубев С.О., Лебідь О.Г., Черній Д.І. // Математичне моделювання в економіці. – 2019. – № 2. – С. 21–38.

Представлено аналіз схем побудови програмно-моделюючих систем в галузі обчислювальної гідродинаміки. Висвітлено основні недоліки більшості існуючих

загальновідомих програмно-моделюючих систем та перспективні напрямки подолання виявлених недоліків. Показано, що перспективним напрямком є створення комп'ютерних прогнозуючих комплексів на основі програмно-моделюючих систем із застосуванням комплексних моделей та обчислювальних технологій. Визначено вимоги та запропоновано схему побудови програмно-моделюючої системи для прогнозування еволюції процесів взаємодії течій з конструкціями, що рухаються та деформуються.

UDC 517.3;532.5

**Computer simulation tools in the field of computational hydrodynamics** / Golubev S.O., Lebid O.G., Cherniy D.I. // *Mathematical modeling in economy*. – 2019. – № 2. – P. 21–38.

The analysis of schemes of construction of software-modeling systems in the field of computational hydrodynamics is presented. The main shortcomings of the majority of existing well-known software-modeling systems and perspective directions of overcoming the revealed shortcomings are highlighted. It is shown that the perspective direction is creation of computer forecasting complexes on the basis of software-modeling systems with application of complex models and computing technologies. Requirements are defined and the scheme of construction of software-modeling system for prediction of evolution of processes of interaction of flows with moving and deforming structures is proposed.

---

УДК 004.942 ; 007.51

**Композиційна конвергенція інформаційних технологій у системах ситуаційного управління на основі моделі знань предметної області** / Коваленко О.Є. // *Математичне моделювання в економіці*. – 2019. – № 2. – С. 39–44.

Запропоновано знання-орієнтовану модель конвергенції інформаційних технологій шляхом їх композиції. Визначено відповідність між формальним описом проблемної області та засобами інформаційних технологій. Наведено класифікацію категорій інформаційних технологій та представлено формальну модель їх композиції в системах ситуаційного управління. Запропонований підхід забезпечує формування репозиторію компонентів для конвергенції засобів інформаційних технологій для вирішення цільових проблем ситуаційного управління шляхом композиції етапів онтологічного аналізу вимог, функціональної декомпозиції, предметної інтерпретації та фізичної реалізації. Використання запропонованої моделі процесу проектування дозволить забезпечити формалізований синтез систем ситуаційного управління для цільової предметної області шляхом конвергенції інформаційних технологій на основі моделей знань.

UDC 004.942 ; 007.51

**Compositional convergence of information technologies in systems of situational management based on the knowledge domain model** / Kovalenko O.E. // *Mathematical modeling in economy*. – 2019. – № 2. – P. 39–44.

A knowledge-oriented model of convergence of information technologies by the way of their composition is proposed. The correspondence between the formal description of the problem area and the means of information technologies is determined. Classification of categories of information technologies is presented and a formal model of their compositions is presented in systems of situational management. The proposed approach provides creating of repository of components for convergence of information technology tools for solving targeted problems of situational management by compiling the stages of ontological analysis of requirements, functional decomposition, subject interpretation and physical implementation. Using the proposed model of the design process will allow for formalized synthesis of systems of situational management for the target subject area through the convergence of information technologies based on knowledge models.

---

## МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

---

УДК 004.9+556

**Побудова масштабованої інформаційно-пошукової системи для управління річковим басейном на основі реєстрів та онтологічних моделей / Мокін В.Б., Овчаренко І.І., Лучко А.М., Давидюк О.М. // Математичне моделювання в економіці. – 2019. – №2 – С. 45–56.**

Досліджувались варіанти підвищення швидкості масштабованого багатокритеріального пошуку релевантної інформації в інформаційно-пошуковій системі з уніформатними підходами для парсингу вхідних даних на прикладі системи для управління річковим басейном з можливістю пошуку даних за ключовими словами опису предметної області та просторовою і часовою прив'язкою цих даних. Запропоновано удосконалення принципів формалізації та моделі даних для таких систем, які дозволяють швидше здійснювати пошук даних та формування їх датасетів, готових для оброблення, після імпорту та формалізації інформації з різноформатних реєстрів та онтологічних моделей, за рахунок оперування окремими даними, а не складеними з ними типами даних. Кожне таке дане ув'язується з усіма можливими семантичними мережами системи. Описана робота пілотної версії веб-системи, побудованої за запропонованими принципами, на прикладі роботи з даними моніторингу якості вод у басейні річки Південний Буг.

UDC 004.9+556

**Construction of a scalable information retrieval system for river basin management based on the registries and ontological models / Mokin V.B., Ovcharenko I.I., Luchko A.M., Davidiuk O.M. // Mathematical modeling in economics. – 2019 – №2. – P. 45–56.**

The options for increasing the speed of scalable multicriterial search of relevant information in the information retrieval system with unformatted approaches for parsing incoming data on an example of a system for managing the river basin with the ability to search data by keywords describing the subject area and the spatial and temporal binding of these data were explored. Improvement of formalization principles and data models for such systems, which allow faster data search and the formation of their data extracts, ready for processing, after importing and formalizing information from multi-format registers and ontological models, due to the operation of separate data, and not with the types that are composed of them, is proposed. data. Each such data is cropped up with all possible semantic networks of the system. The work of the pilot version of the web system constructed according to the proposed principles is described, for example, with the data on monitoring the quality of water in the basin of the Southern Booh River.

---

УДК 004.5:004.6:004.89:007.51

**Онтолого-керовані інформаційні системи в адміністративному управлінні / Нестеренко О.В. // Математичне моделювання в економіці. – 2019. – № 2. – С. 57–68.**

Розглядається проблема визначення основних підходів до застосування онтолого-керованих інформаційних систем у сфері адміністративного управління. Наведено теоретико-множинне визначення предметної області у сфері адміністративного управління. Проаналізовано сучасний стан, проблеми і перспективи застосування комп'ютерних онтологій при побудові знанне-орієнтованих інформаційних систем. Обґрунтовано застосування комп'ютерних онтологій для розв'язання задачі оцінки на основі спроможностей в процесі оборонного планування, що проводиться Міністерством оборони України. Представлено мапу світу оборонного планування на основі спроможностей у вигляді низки таксономій суперкласів.

UDC 004.5:004.6:004.89:007.51

**Ontologically-driven information systems in the administrative management** / Nesterenko O.V. // *Mathematical modeling in economy*. – 2019. – № 2. – P. 57–68.

The problem of determining the basic approaches to the use of ontologically-driven information systems in the field of administrative management is considered. The set-theoretical definition of a subject domain in the field of administrative management is given. The present state, problems and prospects of application of computer ontologies in the construction of knowledge-oriented information systems are analyzed. The use of computer ontologies for solving the problem of assessment on the basis of capabilities in the process of defense planning conducted by the Ministry of Defense of Ukraine is substantiated. The map of the world defense planning on the basis of capabilities in the form of a series taxonomies of superclasses is presented.

---

## АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

---

УДК 004.942 ; 626/627 ; 504.05

**Логіко-імовірнісне моделювання і прогнозування аварій на напірних гідроспорудах Дністровського гідровузла (Частина 1. Методологія, гіпотези та припущення)** / Стефанишин Д.В. // *Математичне моделювання в економіці*. – 2019. – № 2. – С. 69–85.

Стаття є першою частиною комплексної роботи, присвяченої моделюванню і прогнозуванню гіпотетичних аварій, з оцінюванням ймовірностей їх виникнення, на гідроспорудах, що формують напірний фронт Дністровського гідровузла. В цій частині обґрунтовано актуальність проблеми, розглянуто загальну постановку задачі досліджень, викладено методологію досліджень та сформульовано їх мету, окреслено прийняті гіпотези і припущення, дано коротку характеристику моделей, методів і підходів, що використовувалися при вирішенні поставленої задачі.

UDC 004.942 ; 626/627 ; 504.05

**Logic-probabilistic modeling and forecasting of accidents on water retaining hydraulic structures of the Dniestrovsky waterworks (Part 1. Methodology, hypotheses and assumptions)** / Stefanyshyn D.V. // *Mathematical modeling in economy*. – 2019. – № 2. – P. 69–85.

The article is the first part of the complex work devoted to modelling and predicting hypothetical accidents, with the estimation of their probability of occurrence, on water retaining hydraulic structures forming the pressure front of the Dniester waterworks. In this part, the urgency of the problem is substantiated, the general statement of the research issue is considered, the research methodology is presented and the purpose of the research is formulated, hypotheses and assumptions are outlined, and the brief description of the models, methods and approaches used in solving the problem is given.

УДК 336.711.(477)

**Експрес-метод оцінювання фінансової стійкості банку** / Дробязко А.О., Любич О.О. // *Математичне моделювання в економіці*. – 2019. – № 2. – С. 86–100.

Метою даної роботи є візуалізація дисбалансів фінансових потоків у діяльності банку на основі математичних моделей, заснованих на доступній для широкої громадськості статистиці банківського балансу, та виявлення ризиків. Моніторинг ринку з послідовним використанням запропонованих чотирьох моделей для оцінки якості банківських балансів дозволяє мати інструменти для адекватної оцінки ризику короткострокових інвестицій. Запропонована методика оцінювання фінансового стану банків дає змогу забезпечити зрозумілу й наочну інтерпретацію управлінських рішень щодо можливості співпраці (відкриття лімітів) з ринковими підприємцями на підставі наявної та іноді навмисно викривленої інформації.

UDC 336.711 (477)

**Express method for assessing bank financial strength** / Drobyazko A.O., Lyubich O.O. // *Mathematical modeling in economy.* – 2019. – № 2. – P. 86–100.

The aim of this work is a visualization of imbalances of financial flows in bank's activity on the basis of mathematical models based on accessible to the general public the banking balance statistics and identification of risks. Market monitoring with consistent usage of the proposed article four models for quality evaluation of bank balance sheets allows you to have tools for adequate risk assessment of short-term investments. The method of assessing the financial status of banks enables to provide a clear and vivid interpretation of managerial decisions on the possibility of cooperation (opening of limits) with market contractors on the basis of available and sometimes deliberately distorted information.

---

УДК 311.3; 330.341.1

**Система інноваційних індикаторів ЄС як інструмент євроінтеграційних процесів** / Макаренко І.П., Рогожин О.Г. // *Математичне моделювання в економіці.* – 2019. – № 2. – С. 101–114.

Аналіз особливостей економічного та інноваційного розвитку європейського макрорегіону показав, що формування систем інноваційних індикаторів пов'язане з об'єднавчими процесами Європи та сучасними тенденціями глобального економічного розвитку. Причому глобальні формати формування інноваційних індикаторів обумовлені європейським досвідом. На прикладі ЄС показана важливість використання макроекономічних та інноваційних індикаторів в єдиному комплексі. Інноваційні індикатори виконують функцію компенсації недостатньо розвинутого макроекономічного середовища в розглянутих національних економіках.

UDC 311.3; 330.341.1

**The system of EU innovation indicators as an instrument of the euro-integration processes** / Makarenko I.P., Rogozhin O.G. // *Mathematical modeling in economy.* – 2019. – № 2. – P. 101–114.

The analysis of the peculiarities of economic and innovation development of the European macro-region has shown that the origin of the systems of innovation indicators is connected with the unifying processes of Europe and the modern tendencies of global economic development. Moreover, global forms of innovation indicators formation are conditioned by European experience. The example of the EU shows the importance of using macroeconomic and innovation indicators in a single complex. Innovation indicators serve as compensation for underdeveloped macroeconomic environment in the considered national economies.

---

## ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Голубєв Сергій Олександрович** – аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

**Горбулін Володимир Павлович** – академік НАН України, перший віцепрезидент НАН України (Україна, м. Київ).

**Давидюк Оксана Миколаївна** – аспірант кафедри САКМІГ ВНТУ, член комісії з питань кадастру водних об'єктів та водогосподарських проблем басейнової ради Південного Бугу (Україна, м. Вінниця).

**Дробязко Анатолій Олександрович** – кандидат економічних наук, провідний науковий співробітник ДННУ «Академія фінансового управління» (Україна, м. Київ).

**Коваленко Олексій Єпифанович** – кандидат технічних наук, доцент, докторант Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України (Україна, м. Київ).

**Лебідь Олексій Григорович** – кандидат технічних наук, заступник директора з наукових питань Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

**Лучко Андрій Михайлович** – аспірант кафедри САКМІГ ВНТУ, член комісії з питань кадастру водних об'єктів та водогосподарських проблем басейнової ради Південного Бугу (Україна, м. Вінниця).

**Golubev Sergey** – postgraduate student of the Institute of Telecommunication and Global Information Space of the National Academy of Science of Ukraine (Ukraine, Kyiv).

**Horbulin Volodymyr** – Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, the First Vice-President of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Kyiv).

**Davydyuk Oksana** – postgraduate student of the Chair of SAKMIG VNTU, a member of the Commission on Water Supply Cadastre and Water Management Issues of the of the Basin Council of Southern Booh (Ukraine, Vinnytsia).

**Drobiazko Anatolii** – PhD in Economics, Leading Researcher of the SESE «Academy of Financial Management» (Ukraine, Kyiv).

**Kovalenko Oleksii** – Candidate of sciences (Eng.), Associated Professor, Doctoral Student, Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the NAS of Ukraine, (Ukraine, Kyiv).

**Lebid Oleksii** – PhD in Technical Science, senior researcher of the Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Science of Ukraine (Ukraine, Kyiv).

**Luchko Andriy** – postgraduate student of the Chair of SAKMIG VNTU, member of the Commission on Water Supply Cadastre and Water Management Issues of the Basin Council of Southern Booh (Ukraine, Vinnytsia).



**Любіч Олександр Олексійович** – доктор економічних наук, професор, заслужений економіст України, віце-президент ДННУ «Академія фінансового управління» (Україна, м. Київ).

**Макаренко Ігор Петрович** – кандидат економічних наук, директор Інституту еволюційної економіки (Україна, м. Київ).

**Мокін Віталій Борисович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки (САКМІГ) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ), голова басейнової ради Південного Бугу (Україна, м. Вінниця).

**Нестеренко Олександр Васильович** – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник державного підприємства «Український науковий центр розвитку інформаційних технологій» (УкрНЦ РІТ) (Україна, м. Київ).

**Овчаренко Ірина Іванівна** – кандидат економічних наук, Голова Державного агентства водних ресурсів України (Україна, м. Київ).

**Полумієнко Сергій Костянтинівич** – доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу прикладної інформатики Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

**Рогожин Олексій Георгійович** – доктор економічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

**Стефанишин Дмитро Володимирович** – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору (ІТГІП) НАН України, професор кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (Україна, м. Рівне).

**Liubich Oleksander** – Doctor of Economics, Professor, Honored economist of Ukraine, vice-president, SESE «Academy of Financial Management» (Ukraine, Kyiv).

**Makarenko Igor** – PhD in Economic Science, Senior Research Fellow, Director of the Institute of Evolutionary Economics (Ukraine, Kyiv).

**Mokin Vitalii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of System Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics (SAKMIG) of Vinnytsia National Technical University (VNTU), head of the Basin Council of Southern Booh (Ukraine, Vinnytsia).

**Nesterenko Oleksandr** – PhD in Technical Science, Associate Professor, Lead researcher, Ukraine national center of information technology development (Ukraine, Kyiv).

**Ovcharenko Iryna** – PhD of Economic Sciences, Head of the State Agency of Water Resources of Ukraine (Ukraine, Kyiv).

**Polumiienko Sergii** – Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Head of the Department of Applied Informatics, Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Kyiv).

**Rogozhin Oleksiy** – Doctor of sciences (Econ.), Senior Research Fellow, Lead researcher, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine (Ukraine, Kyiv).

**Stefanyshyn Dmytro** – Doctor of sciences (Eng.), Department of natural resources, Lead researcher, The Institute of Telecommunications and Global Information Space of the NAS of Ukraine, associate professor, professor, Department of hydro construction and hydraulics, The National University of Water and Environmental Engineering (Ukraine, Rivne).

**Трофимчук Олександр Миколайович** – член-кореспондент НАН України, директор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

**Черній Дмитро Іванович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри обчислювальної математики, факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету ім. Тараса Шевченка; провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

**Trofymchuk Oleksandr** – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Director of the Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Kyiv).

**Cherniy Dmytro** – PhD, Associate Professor at Department of Computational Mathematics, Head of Department of Complex Systems Modelling, Faculty of Computer Science and Cybernetics, Taras Shevchenko National University of Kyiv; Principle Investigator, Institute of Telecommunication and Global Information Space, National Academy of Science of Ukraine (Ukraine, Kyiv).

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Інституту економіки і прогнозування НАН України.

© Авторские и смежные права принадлежат авторам отдельных публикаций, Институту телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Институту кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Институту экономики и прогнозирования НАН Украины.

Copying © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Institute for Economics and Forecasting of NAS of Ukraine. All rights reserved.

## ДО УВАГИ АВТОРІВ ЖУРНАЛУ

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню журналу. Тематика журналу стосується математичного моделювання у всіх сферах господарської діяльності, тобто, економіки в її широкому розумінні. До друку приймаються статті українською, англійською та російською мовами.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова двома мовами (українською та англійською). Також двома мовами подаються реферати до статті, які будуть розміщені в електронному варіанті журналу «Математичне моделювання в економіці» на сайті журналу. Вимоги до оформлення наведені на сайті журналу.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються. Автору надсилається відповідне повідомлення. Матеріали, отримані від автора, редакцією не повертаються. Після доопрацювання автор може подати матеріал повторно, з виконанням усіх процедур подачі матеріалу.

Статті, що були представлені в редакцію і прийняті після рецензування, але не попали в поточний номер журналу, будуть надруковані в наступних номерах журналу.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами журналу, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ журналу, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником.

Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія журналу.

Електронна версія журналу, правила оформлення та вимоги до статей, зміни і доповнення до тематичних розділів будуть оперативно подаватися в Інтернеті на сайті журналу «Математичне моделювання в економіці» [www.mmejournal.in.ua](http://www.mmejournal.in.ua)

Журнал також представлений на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність».

## АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,  
Інститут телекомунікацій і глобального  
інформаційного простору НАН України

Телефони: (044) 245-87-97

(044) 524-22-62

e-mail: [economconsult@gmail.com](mailto:economconsult@gmail.com)  
[journal.mme@gmail.com](mailto:journal.mme@gmail.com)

Електронна версія журналу в Інтернеті  
[www.mmejournal.in.ua](http://www.mmejournal.in.ua) українською та  
англійською мовами

**ISSN (print) 2409-8876**

**ISSN (on-line) 2663-9068**

*Коректор – Берчун В. П.*

---

### **Надруковано:**

Видавничий дім «Юстон»

01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36.

Тел.: (044) 360-22-66

Реєстраційне свідоцтво НБ № 153324 від 05.11.2012 р.

---

Підписано і здано до друку 24.06.2019. Формат 70X108/16. Папір офсетний.

Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 10.5

Обл.-вид. арк. 11.9

Тираж 300 примірників

Замовлення №       

---

КИЇВ 2019