

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 (11), квітень-червень 2018 р.

Міжнародний науковий журнал

Заснований у липні 2014 р.
Виходить 4 рази на рік

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

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

КИЇВ 2018

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

Члени редколегії:

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

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

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

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

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

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України (протокол № 5 від 24.06.2018 р.)

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

ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЖУРНАЛУ

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

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

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

Свідоцтво про реєстрацію
КВ № 20259-10659 Р від 14.07.2014

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

ЗМІСТ

ДО 100-РІЧЧЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Трофимчук О.М., Миронцов М.Л.

Сучасні дисертаційні дослідження Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору: інформаційні технології.....	5
--	---

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

Гуляницький Л.Ф., Павленко А.І.

Оптимізація шляхів у динамічному графі перельотів модифікованим алгоритмом мурашиних систем.....	26
--	----

Василенко В.М.

Дослідження ефективності детермінованих та псевдовипадкових перемежувачів турбокодів.....	40
---	----

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

Рогожин О.Г.

Особливості довгострокової економічної динаміки за останні 50 років.....	50
--	----

Стенін О.А., Дроздович І.Г., Лищук К.І.

Аналіз і мінімізація промислових викидів в екологічних зонах індустріальних регіонів.....	64
---	----

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

Стефанишин Д.В., Власюк Ю.С.

До питання порівняльного аналізу водноенергетичних характеристик малих і великих гідроелектростанцій України у складі гідровузлів з водосховищами	71
---	----

Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С.

Проблеми аналізу ризику проявлення небезпечних процесів та оцінка економічного збитку в межах сельбищної території.....	84
---	----

РЕФЕРАТИ.....	93
----------------------	-----------

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ.....	98
------------------------------------	-----------

CONTENTS

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

Trofymchuk O.M., Myrontsov M.L.

Modern dissertation researches of the Institute of Telecommunications and Global Information Space: Information Technologies 5

INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

Hulianytskyi L.F., Pavlenko A.I.

Path Optimization in dynamic graph of air flights by ACS-based algorithm..... 26

Vasylenko V.M.

Investigation of the effectiveness of deterministic and pseudo-random interleavers of turbo codes 40

MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

Rogozin O.G.

Peculiarities of Long-Term Economic Dynamics for last 50 years 50

Stenin A.A., Drozdovych I.G., Lishchuk E.I.

Analysis and minimization of industrial emissions in ecological zones of industrial regions..... 64

ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

Stefanyshyn D.V., Vlasiuk Yu.S.

To the issue of comparative analysis of water-energy characteristics of small and large hydroelectric power plants of Ukraine being parts of waterworks with reservoirs..... 71

Azarov S.I., Sydorenko V.L., Zadunaj O.S.

Problems of analysis of the risk of manifestation of dangerous processes and assessment of economic damage within the boundaries of the residential area 84

ABSTRACTS..... 93

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS..... 98

ДО 100-РІЧЧЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

УДК 004, 005, 528.8

О.М. ТРОФИМЧУК, М.Л. МИРОНЦОВ

СУЧАСНІ ДИСЕРТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНСТИТУТУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ: ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

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

***Ключові слова:** інформаційні технології.*

Вступ

Це друга з трьох статей, мета яких відмітити історичну дату – сторіччя Національної академії наук [1], згадавши найбільш важливі результати, що увійшли до дисертаційних досліджень, які були успішно захищені безпосередньо співробітниками Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (ІТГП НАНУ) або були захищені під їх науковим керівництвом з моменту створення Спеціалізованої Вченої Ради Д 26.255.01 (при ІТГП НАНУ).

Метою першої статті [2] було викладення основних результатів за спеціальністю «01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи» (три докторські та шість кандидатських робіт) і «05.23.02 – основи і фундаменти» (одна докторська робота). Метою цієї є висвітлення результатів досліджень за спеціальністю «05.13.06 – інформаційні технології».

Окремо зазначимо, що майже всі наведені нижче результати доповідались на щорічних конференціях «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» [3-6], головним організатором яких є ІТГП НАНУ.

1. Основні результати

Методологія синтезу інформаційно-комунікаційних систем на базі єдиної інформаційної платформи (2014, на здобуття наукового ступеня д.т.н.; науковий консультант **чл.-кор.** (з 2018 р. – **академік**) **НАН України, д.ф.-м.н. С.О. Довгий**).

Робота **О.В. Копійки** [7] присвячена підвищенню ефективності функціонування інформаційно-комунікаційних систем за рахунок надання їм властивості єдиної, гнучко масштабуємої, високоавтоматизованої і надпотужної інформаційної платформи, що забезпечує створення інформаційно-управляючого простору для автоматизації складних організаційно-технічних об'єктів.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [8-22]:

1. Розроблена методологія синтезу інформаційно-комунікаційних систем, яка включає концептуальні, теоретичні та технологічні основи та, на відміну від відомих методологій, враховує усі складові, що впливають на ефективність функціонування інформаційно-комунікаційної системи, основні структурні елементи (бізнес-процеси, підсистеми, інформаційну модель, інтеграційне середовище) та принципи, зокрема: загальна інформаційна модель; загальна спільно використовувана телекомунікаційна інфраструктура; чітко встановлені інтерфейси; незалежність бізнес-процесів від застосовуваних підсистем; використання розподіленої системи з нежорсткими зв'язками між її компонентами, що дає можливість забезпечити якісне виконання глобальних бізнес-процесів в межах єдиної інформаційної платформи.

2. Розроблено концепцію єдиної інформаційної платформи, яка відрізняється від існуючих наявністю у своєму складі комунікаційних систем та системної ІТ-інфраструктури, що забезпечує побудову сучасної інфраструктури національного масштабу на основі конвергенції інформаційно-комунікаційних систем для розв'язання задач електронного урядування та корпоративного бізнесу, що дало можливість забезпечити якісний і повсюдний доступ клієнтів до ІТ-сервісів та служб.

3. Розроблено метод оптимізації послідовних процесів між підсистемами різних інформаційно-комунікаційних систем, що мають декомпозиційну природу, який відрізняється від інших введенням оригінальної цільової функції, яка змінюється в залежності від сценарію бізнес-процесів та дозволяє поєднувати інформаційно-комунікаційні системи в єдиний обчислювальний процес для знаходження оптимального рішення для розподіленої системи з нежорсткими зв'язками між її компонентами.

4. Запропоновано метод синтезу комунікаційної інфраструктури, яка отримує конвергентні властивості для надання персоналізованих послуг кінцевому користувачу, який базується на запропонованих методології і методах та дозволяє клієнту реалізувати принцип самоконфігурації послуг та отримувати увесь спектр сучасних конвергентних інформаційно-комунікаційних послуг з узгодженою якістю (QoS).

5. Розроблено метод багатокритеріальної оптимізації для інформаційно-комунікаційних систем телекомунікаційного оператора, який відрізняється від усіх існуючих введенням оригінальної суб'єктивно-результуючої цільової функції, яка утворюється шляхом об'єднання нормативних критеріїв, що

дозволяє значно зменшити час отримання оптимального рішення щодо різних сценаріїв розвитку телекомунікаційного оператора.

6. Розроблено метод оптимізації процесу забезпечення визначеними категоріями клієнтів сервісів центрів обробки даних, інтеграція яких визначає п'ять архітектур (безпеки, управління, зберігання даних, програмних додатків, мережева). Метод відрізняється від інших чітко визначеним алгоритмом п'яти сценаріїв забезпечення доступу до сервісів, що дозволяє мінімізувати час оброблення запитів клієнтів сервісною системою, оптимізувати її продуктивність за визначеними навантаженнями для обраної системної конфігурації.

7. На основі методу оптимізації послідовних процесів між підсистемами розроблена універсальна архітектура інформаційно-комунікаційних систем для національних операторів галузі телекомунікацій та інформатизації, яка забезпечує працездатність всіх компонентів сучасної інформаційної інфраструктури, яка впроваджена в ПАТ “Укртелеком”.

8. На основі методології синтезу інформаційно-комунікаційних систем та методу багатокритеріальної оптимізації під управлінням єдиної системи бізнес-процесів об'єднано інформаційно-комунікаційні системи національного телекомунікаційного оператора, які автоматизують виробничий, управлінський процес та операційну діяльність, засоби виробництва, загальносистемне забезпечення, а також засоби, які забезпечують створення, обробку, збереження, видалення та транспортування інформації, як еталону для інформаційної інфраструктури.

Методологія оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей (2017, на здобуття наукового ступеня д.т.н.; науковий консультант д.т.н. **В.Л. Бурячок**).

Робота **В.В. Семка** (докторант ІТГП НАНУ у 2010-2013 рр.) [23] присвячена підвищенню швидкодії і стійкості функціонування систем інтелектуального управління об'єктами в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [24-35]:

1. Впроваджено теоретико-множинну модель взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження за умов конфлікту, обмежень та невизначеностей, що дозволило: визначити основні взаємозв'язки конфлікту з середовищем, в якому конфлікт розвивається; визначити характер і способи біфуркації елементів і підструктур конфлікту; досліджувати властивості топологічності математичного простору представлення для конфліктної системи; формувати формальні моделі конфлікту взаємодії об'єктів конфліктуючої системи в просторі спостереження й визначити шляхи запобігання та рішення конфлікту в класі поліноміальних алгоритмів.

2. Впроваджено семіотичну модель взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в просторі спостереження, що дозволило: використовувати правила змін семіотичної моделі інтелектуального перетворювача; використовувати мову і граматику загального виду для опису процесів взаємодії об'єктів в просторі спостереження; використовувати формальну мову для опису множини

ланцюжків управління об'єкта при переміщенні з початкової в кінцеву термінальну позицію в простір рішень.

3. Впроваджено семантичну модель взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в просторі спостереження, що дозволило: використовувати мову і контекстно-вільну граматику опису подій в системі інтелектуального управління для аналізу повідомлень; здійснювати синтез стратегій та ланцюжків гарантовано оцінених керуючих впливів в системі інтелектуального управління при рішенні конфлікту взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в просторі рішення.

4. Впроваджено метод рішення конфлікту взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах обмежень та невизначеностей, як *NP*-повної перебірної задачі динамічної дискретної оптимізації, що дозволило: визначити правила продукції для формування гарантовано оцінених ланцюжків управління при переміщенні об'єкта управління з початкової в кінцеву термінальну позицію простору рішень; визначити, що критерій відбору не входить до правил мови класу предикатів і входить в граматику загального виду; забезпечити вирішення конфліктів великої розмірності з високим рівнем абстракції в гарантовано оціненому просторі рішень; визначити властивості конфліктів при множинному уявленні простору рішень.

5. Впровадження вирішуючих правил і формальних методів визначення інформаційних множин, доповнення простору рішень, гарантованого управління об'єктом при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження, що дозволило: формувати множини простору комбінованого управління об'єктом; доповнювати простір рішень; визначити сектори небезпечних напрямків переміщення об'єкта управління; формально описувати простір рішень.

6. Впроваджено метод формування функціонального віртуального простору рішень для варіативної множини об'єктів спостереження, що дозволило: здійснювати інтегральне врахування інформаційних множин небезпечних станів простору рішення; визначити множини гарантовано оціненого управління об'єктом управління при переміщенні в простір рішень; визначити напрямки переміщення інформаційних множин небезпечних станів в просторі рішення конфлікту.

7. Впроваджено метод синтезу та вибору стратегій (траєкторій) переміщення та гарантованого управління об'єктом в просторі рішень при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах конфлікту, обмежень і невизначеностей (метод інтегрального усікання варіантів), що дозволило: визначити чисельне, а не аналітичне подання моделі рішення конфлікту і обмежень конфлікуючої системи; визначити оптимальну траєкторію переміщення об'єкта управління за умов його оптимального гарантовано оціненого управління; визначити критерій відбору (функцію ціни) при рішенні конфлікту; визначити ознаку розривності простору рішень; визначити правило зупинки при рішенні конфлікту; визначити алгоритм рішення конфлікту: забезпечити *P*-час рішення конфлікту.

Трансдисциплінарна інтеграція інформаційних ресурсів (2014, на здобуття наукового ступеня д.т.н.; науковий консультант **чл.-кор.** (з 2018 р. – академік) **НАН України, д.ф.-м.н. С.О. Довгий**).

Робота **О.Є. Стрижака** [36] присвячена створенню наукових і методологічних засад розробки глобальних інформаційних технологій та систем і підвищення ефективності переробки політематичних інформаційних ресурсів глобального середовища за рахунок їх трансдисциплінарної інтеграції.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [37-50]:

1. Розроблено наукові, методологічні та технологічні засади створення трансдисциплінарних інформаційних технологій та систем, які забезпечують обробку та переробку інформації глобального середовища на умовах врахування усіх типів відношень, які можуть бути виявлені у процесах розв'язування складних міждисциплінарних проблем.

2. Розроблено моделі, методи та засоби формування та відображення станів онтологічних систем, застосування яких забезпечило трансдисциплінарне використання інформаційних ресурсів, які мають множинність, невпорядкованість та нечіткість їх опису при вирішенні складних політематичних задач ("на лету").

3. Визначено ознаки та структуру трансдисциплінарної категорії інваріантних задач, розв'язання яких безпосередньо утворює процес інтеграції інформаційних ресурсів глобального середовища.

4. Запропоновано методи типізації трансдисциплінарних онтологічних моделей у процесі інтеграції контекстів, які відображають семантичні властивості інформаційних ресурсів, що дозволило поєднати політематичні ресурси, які характеризуються множинністю своїх семантичних властивостей та нечіткістю описів при розв'язанні складних політематичних задач ("на лету").

5. Експериментально підтверджено ефективність використання розроблених моделей, методу та інформаційної технології трансдисциплінарної інтеграції просторово розподілених інформаційних ресурсів та систем шляхом інтеграції політематичної, різномірної просторово розподіленої інформації в спеціально організованому інформаційно-аналітичному середовищі, а також її об'єктної візуалізації, тематичної локалізації в рамках інших інформаційних систем.

6. Результати досліджень можуть бути використані в реалізації крупних, складних інфраструктурних проєктів, включаючи застосування ГІС (геоінформаційні системи) – орієнтованого прикладного програмного забезпечення; в навчальному процесі, для моніторингу якості навчально-інформаційних ресурсів; для підвищення рівня виконання науково-дослідницьких робіт за різними тематиками; управління активами різного типу завдяки уніфікації спільно використовуваної понятійної системи і використання єдиного інформаційного (понятійного) простору на основі трансдисциплінарних онтологій предметних областей.

Результати впровадження підтверджено відповідними актами.

Інформаційні моделі та методи моніторингу температурних явищ підстильної поверхні Землі (2013 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук**).

Робота **В.Ю. Вишнякова** (аспірант ІТГП НАНУ у 2009-2013 рр.) [51] присвячена підвищенню достовірності ідентифікації показників температурних явищ підстильної поверхні за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), шляхом створення нових інформаційних моделей та їх реалізації у вигляді інформаційної системи комп'ютерної підтримки рішень з питань управління екологічною безпекою визначених територій.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [38, 52-56]:

1. Запропоновано новий онтологічний метод відображення взаємодії тематичних класів об'єктів для визначення необхідних додаткових даних, моделей та алгоритмів оброблення даних. Це дозволило при вирішенні завдань проектування та реалізації інформаційної системи комп'ютерної підтримки рішень (ІСКПР) визначити нові концепти онтологічної моделі. Вперше сформовано операційне середовище вирішення задач моніторингу температурних явищ на основі інтеграції онтологічних моделей складових процесів.

2. З використанням розроблених та існуючих моделей побудовано макет інформаційної системи комп'ютерної підтримки рішень для визначення показників температурних явищ. На базі цього сформовано висловлювання в термінах теорії проектування та побудови комп'ютерних систем. На основі методів теорії алгебри висловлювань розроблено тематичну онтологію об'єктів та класів, які дозволяють формалізувати процеси та побудувати таксономію на базі множини висловлювань з метою синхронізації взаємодії процесів моніторингу температурних явищ.

3. Сформульовано та доведено нове твердження відносно множини функцій інтерпретації об'єднаної онтології, що не є об'єднанням множин функцій інтерпретацій онтологій. Це доводить необхідність розгляду кожної таксономічної невизначеності окремо, а не в сукупності.

4. Побудовано інформаційну та функціональні моделі ІСКПР. Реалізовано загальне операційне середовище ІСКПР з питань моніторингу температурних явищ підстильної поверхні на території України за даними ДЗЗ, що дозволило збільшити вірогідність співпадання фактичних пожеж та виявлених температурних аномалій з 33,3% до 50-80%. Розроблено інтегровану інформаційну систему із застосуванням онтологічних інформаційних моделей та існуючих методів моніторингу температурних процесів для території України.

5. Створено та впроваджено ІСКПР для вирішення задач в межах температурного моніторингу підстильної поверхні на території України. В результаті автоматизації процесів формування тематичних карт за розробленою інформаційною технологією час на оброблення космічних знімків було зменшено з 1,5-2 годин до 30 хвилин.

Інформаційна технологія оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря (2017 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник д.т.н. В.Б. Мокін).

Робота **Д.Ю. Дзюняка** [57] присвячена підвищенню точності та ефективності оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу шляхом створення інформаційної технології.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [4, стор. 126-130; 58-62]:

1. Запропоновано метод оцінювання параметрів викидів стаціонарних джерел, для умов, коли необхідно оцінити параметри стаціонарних джерел викидів та визначити серед них ті, що мають найбільший забруднюючий вплив, в першу чергу потенційно понаднормативних, за нечіткими експертними оцінками з урахуванням чутливості якості атмосферного повітря у певному місці спостереження від апріорної інформації про координати, метеумови та проектно-технічні характеристики кожного можливого джерела викидів, формалізованих у нечіткій базі знань, що дозволяє підвищити точність та ефективність такого оцінювання. Задача оцінювання просторових та проектно-технічних параметрів конкретного стаціонарного джерела викиду може бути реалізована за допомогою запропонованого методу за даними оперативного моніторингу зони розсіювання за допомогою БПЛА за рахунок розв'язання зворотної задачі розсіювання на основі моделі Гаусса, що дозволяє підвищити точність оцінювання параметрів цього джерела за мінімальної кількості даних спостережень.

2. Доведено, що викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел (наприклад, автотранспорту) представляють собою не меншу загрозу для довкілля.

3. Показано, що для оцінювання викидів автотранспорту можливо використовувати розроблений метод обробки даних моніторингу параметрів пересувних джерел викидів, з урахуванням їх просторово-часової неоднорідності, параметрів транспортної мережі та метеопараметрів з використанням нечіткої бази знань кількості транспортних засобів на кожній ділянці вулиці, що дозволяє більш точно отримати залежність між параметрами транспортних засобів і станом забруднення атмосферного повітря.

3. Запропоновано методику побудови сучасної ІВС із моделлю, основою на нечіткій базі знань, яка використовується для оцінювання параметрів моделі забруднення атмосферного повітря автотранспортом, що дозволяє підвищити точність та ефективність цього оцінювання за рахунок комплексної обробки таких параметрів. Відповідно до вищевказаного також вдалось удосконалити схему та методику побудови універсальної інформаційно-вимірювальної мобільної системи для оперативного моніторингу стану забруднення атмосферного повітря з використанням мобільних пристроїв, встановлених на транспортні засоби, яку можна швидко адаптувати під задані умови та показники стану довкілля і фактори його забруднення.

4. Запропоновано інформаційну технологію оцінювання параметрів стаціонарних та пересувних джерел викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря, яка поєднує усі запропоновані в роботі методи, інформаційні системи та веб-сервіси і дозволяє підвищити точність та ефективність визначення параметрів викидів із різних джерел.

5. Для проведення дослідження стану атмосферного повітря у місті з використанням розробленої автором інформаційно-вимірювальної системи промодельовано стан забруднення атмосферного повітря м. Вінниці. Кореляційний аналіз залежності концентрації поширення СО від приведеної кількості транспортних засобів показав значення коефіцієнта кореляції, більше за 0,9, що говорить про високу адекватність розробленої системи.

Моделі автоматизації виконання функцій і задач управління імпульсним вибухопожежним захистом хімічного підприємства (2010 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник д.т.н. В.Д. Захматов).

Робота **О.О. Кряжич** [63] присвячена підвищенню оперативності обробки даних для управління імпульсними засобами вибухопожежного захисту шляхом розробки моделей та алгоритмів автоматизації процесів функціонального (організаційного) управління із забезпечення безпеки на хімічних підприємствах з урахуванням можливих масштабів кризи.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [64-69]:

1. Виконано аналіз сучасних підходів, методів та моделей до побудови інформаційних технологій аналізу процесів, типових особливостей та системних потреб хімічного підприємства, проведено дослідження керуючих впливів на забезпечення прийняття рішень у сфері вибухопожежного захисту, визначено комплекс системних вимог, що висуваються до моделей автоматизованої переробки інформації для підтримки прийняття рішень з управління вибухопожежним захистом. Встановлено, що підвищення вибухопожежної безпеки підприємства за допомогою нових імпульсних засобів багатопланового захисту можливе за умов розроблення нових, відповідних змінам ситуації, моделей управління безпекою підприємства на засадах системної повноти, несуперечності та актуальності інформації.

2. Вперше розроблено моделі підвищення безпеки вибухопожежного захисту з використанням засобів імпульсної техніки, що дозволило визначати вірогідності виникнення пожежі, викиду, вибуху, виливу СДОР і реалізації локалізації та ліквідації аварії у лінійному, двовимірному та тривимірному випадках, а також моделювати можливості помилки прицілювання. На цій основі запропоновано алгоритми автоматизації обробки інформації для прийняття рішень з виконання функцій і задач управління локалізацією і ліквідацією аварійних ситуацій на хімічному підприємстві, які, на відміну від існуючих, використовують оперування регламентними та кризовими процедурами при використанні імпульсних засобів багатопланового захисту, що дозволяє швидко локалізувати та ліквідувати аварію й прийняти кваліфіковане рішення щодо попередження аварії шляхом превентивних дій з недопущення розвитку ситуації та її виходу за межі робочого майданчика.

3. Вперше запропоновано підхід до ідентифікації типів ресурсів на основі балансового методу з використанням вимог стратегічного управління DOTMLPF-P для перевірки відповідності моделі імпульсного вибухопожежного захисту потребам хімічного підприємства, зокрема, реалізовано представлення формального критерію оцінки балансу ресурсів, виконання регламенту, реалізації повноважень персоналу і часу виконання дій, що дозволяє визначити достатню кількість засобів та сил для реалізації змодельованої ситуації.

4. Отримала подальший розвиток інформаційна модель електронного паспорта потенційно небезпечного об'єкта, яка, на відміну від існуючої, дозволяє вибирати вхідні дані для моделей автоматизації функцій і задач управління імпульсним вибухопожежним захистом хімічних підприємств за суттєвими для ситуації характеристиками. Розроблено підхід до інтеграції окремих програмних виробів в єдиний програмний комплекс, запропонований варіант побудови зв'язку таблиць баз даних окремих

програмних виробів для проведення моделювання, що дозволило скоротити час виконання завдань з використанням даних електронного паспорта приблизно на 5 хв. або на 15,6%.

5. Вперше створено інформаційну технологію отримання та обробки повної, своєчасної та достовірної інформації для реалізації моделей та алгоритмів виконання функцій і задач управління імпульсним вибухопожежним захистом, що дозволяє забезпечувати експертів актуальною інформацією для розрахунків та прийняття рішень у режимі реального часу та автоматизувати проведення нарад за подією з віддаленими експертами. Ця технологія дозволяє підвищити оперативність обробки даних для управління імпульсними засобами на 5,4% або 6 хв. за кожним аварійним випадком. Експериментальне тестування створеного програмного модуля отримання та обробки аудіоінформації про подію показало, що затримка передачі інформаційних пакетів у режимі реального часу за умов використання локальної мережі не перевищує 0,5 с. За розробленими методами, моделями та за допомогою запропонованих програмних виробів здійснене моделювання ситуації для потенційно небезпечних об'єктів, розташованих на території Горлівської міської ради. Проведене обґрунтування економічної ефективності впровадження інформаційної технології виконання функцій і задач управління імпульсним вибухопожежним захистом, яке довело можливість скорочення щорічних збитків від аварій, у тому числі екологічних, на 2706,41 тис. грн з отриманням чистого економічного ефекту у 1665,50 тис. грн.

6. Загальне практичне значення результатів полягає в тому, що вони можуть бути використані:

- організаціями-розробниками складних систем і систем управління для комплексної інтеграції проектних рішень щодо застосування нових імпульсних засобів багатопланового захисту;

- органами управління й аналітичними структурами Державної служби України з надзвичайних ситуацій для оцінювання ефективності управління та обґрунтування завдань на модернізацію системи управління вибухопожежним захистом на потенційно небезпечних об'єктах та об'єктах підвищеної небезпеки;

- в навчальному процесі у вищих навчальних закладах як складові елементи викладання програм навчальних курсів для фахівців технічних спеціальностей.

Розроблені методи, моделі та алгоритми були реалізовані та апробовані при розв'язанні науково-практичних задач, що підтверджено відповідними актами впровадження від Управління цивільного захисту населення Горлівської міської ради, Державного Макіївського науково-дослідного інституту з безпеки робіт у гірничій промисловості, Відокремленого підрозділу «Южно-Українська АЕС» Національної атомної енергогенеруючої компанії та львівського ТОВ «ЦПБ НьюБізнет».

Онтологія взаємодії в середовищі геоінформаційної системи (2015 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник д.т.н. **О.С. Стрижак**).

Робота **М.А. Попової** (аспірантка ІТГП НАНУ у 2009-2012 рр.) [70] присвячена підвищенню ефективності взаємодії користувачів з розподіленими інформаційними ресурсами, системами та між собою шляхом побудови моделей і розробки методу, а на їх основі – інформаційної

технології онтологічної взаємодії в середовищі геоінформаційної системи через онтологічний інтерфейс.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [3, с. 127-134; 40, 44, 46, 71-76]:

1. Розроблено модель взаємодії геоінформаційної системи та онтології предметної області на основі поєднання операціональної онтологічної моделі ГІС та операціональної онтологічної моделі онтографів, яка дозволяє визначити морфізми між категоріями множин функцій, що представляють операціональність ГІС, та множин функцій інтерпретації онтології, що, у свою чергу, дає можливість вирішення задачі в середовищі онтографу за відсутності такої можливості в середовищі геоінформаційної системи.

2. Розроблено модель онтологічного інтерфейсу як засобу взаємодії користувачів з розподіленими інформаційними ресурсами, системами та між собою, яка включає агрегат даних проміжних станів розв'язування задач, що забезпечує оперативний доступ до агрегованих інформаційних ресурсів та інтегрованих систем з використанням тематичних онтологій в єдиному понятійному інформаційно-аналітичному середовищі, що відрізняється від подібних відсутністю необхідності регенерації програмного засобу за будь-якої зміни в структурі онтології предметної області.

3. На основі запропонованої моделі онтологічного інтерфейсу розроблено метод взаємодії користувачів з розподіленими інформаційними ресурсами, системами та між собою в середовищі геоінформаційної системи, який забезпечує контекстне розширення онтології предметної області, що, у свою чергу, забезпечує багатоаспектний та різнобічний аналіз предметної області.

4. Запропоновано інформаційну технологію онтологічної взаємодії користувача ГІС, яка забезпечує підвищення ефективності використання тематично та просторово розподілених інформаційних ресурсів та систем в середовищі геоінформаційних систем різного призначення.

5. Експериментально підтверджено ефективність використання запропонованих моделей, методу та інформаційної технології взаємодії користувачів з розподіленими інформаційними ресурсами, системами та між собою шляхом подання різнорідної інформації в спеціально організованому інформаційно-аналітичному середовищі, а також її об'єктної візуалізації, географічної локалізації в рамках ГІС, що забезпечує повне контекстне сприйняття атрибутивної інформації про геооб'єкти.

Інформаційна технологія забезпечення достовірності інформації при обміні даними на основі каскадного кодування (2014, на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник к.т.н. (з 2017 – д.т.н.) **В.В. Семко**).

Робота **В.П. Приступи** (аспірант ІТГП НАНУ у 2010-2014 рр.) [77] присвячена розробці інформаційної технології забезпечення достовірності інформації при обміні даними у відомчих мережах радіозв'язку за рахунок застосування складного кодування.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [78-80]:

1. Запропонована інформаційна технологія для забезпечення достовірності інформації при обміні даними у відомчих мережах радіозв'язку за рахунок каскадного кодування, сутність якої полягає в застосуванні кодів Ріда-Соломона, кодів, утворених за допомогою функцій Радемахера та Уолша, системи OFDM з псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот

для забезпечення достовірності систем відомчого радіозв'язку за умов впливу навмисних завад. Інформаційна технологія дозволяє забезпечити задані значення показника достовірності інформації та отримати енергетичний вигравш в забезпеченні достовірності до 24 дБ для середньої ймовірності бітової помилки $P_B = 10^{-5}$ в умовах впливу навмисних завад.

2. Вперше розроблена математична модель оцінки достовірності передачі інформації систем відомчого радіозв'язку за умов впливу навмисних завад, сутність якої полягає в оцінці достовірності передачі інформації систем відомчого радіозв'язку з урахуванням параметрів навмисних завад, системи OFDM, кодів Ріда-Соломона, кодів, утворених за допомогою функцій Радемахера та Уолша. Запропонована математична модель дозволяє оцінити енергетичний вигравш кодування систем відомчого радіозв'язку за умов впливу навмисних завад.

3. У дисертаційній роботі розроблений новий метод вибору параметрів каскадного кодування систем відомчого радіозв'язку з урахуванням впливу навмисних завад, сутність якого полягає у виборі параметрів кодів Ріда-Соломона, кодів, утворених за допомогою функцій Радемахера та Уолша при зміні потужності навмисних завад в каналі передачі. Запропонований метод дозволяє підвищити задані значення показника достовірності інформації та отримати енергетичний вигравш кодування до 10 дБ для середньої ймовірності бітової помилки $P_B = 10^{-5}$ в умовах впливу навмисних завад.

4. Доведена адекватність використаної для підтвердження основних результатів дисертаційної роботи імітаційної моделі, запропоновано конкретні схемотехнічні і організаційні заходи щодо побудови перспективних адаптивних ПРС системи відомчого радіозв'язку, що можуть дозволити забезпечити достовірність передачі інформації систем відомчого радіозв'язку при впливі навмисних завад.

Технологічні засоби трансдисциплінарного представлення геопросторової інформації (2018 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник д.т.н. О.Є. Стрижак).

Робота **В.В. Приходнюка** (аспірант ІТГПі НАНУ у 2014-2017 рр.) [81] присвячена створенню онтологічної моделі і засобів трансдисциплінарного представлення геопросторової інформації та формуванню на їх основі онтологічних ГІС-додатків.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [5, с. 130-133, 127-129; 82]:

1. Розроблено метод структуризації документів шляхом рекурсивного застосування процедури редукції тексту на основі правил, що формуються користувачем.

2. Розроблено моделі трансдисциплінарного представлення інформації та онтологічного інтерактивного документа, на основі яких сформовано модель онтологічного ГІС-додатка і призначений для формування таких додатків програмний модуль.

3. На основі розроблених моделей і методів реалізовано, введено в експлуатацію та інтегровано в систему «ТОДОС» програмний комплекс «Рекурсивний редуктор» і модуль «ТОДОС-ГІС», що дозволяють виконувати структуризацію великих масивів слабо структурованих і неструктурованих

документів, а також трансдисциплінарне представлення наявної в них геопросторової інформації у вигляді онтологічного ГІС-додатка.

4. Виконано реалізацію тематичної бібліотеки інтерактивних документів і її розширення – тематичну бібліотеку онтологічних ГІС-додатків, що дозволяють розміщувати структуризовані документи у веб-орієнтованому середовищі.

5. Експериментально підтверджено ефективність роботи запропонованих моделей та засобів шляхом обробки за їх допомогою великих масивів текстової і табличної інформації, і автоматизованого формування на їх основі бібліотек онтологічних ГІС-додатків.

Метод Байєса при оцінці ризиків аварій та управлінні безпекою на гідровузлах (2017 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник д.т.н. Д.В. Стефанишин).

Робота **К.Г. Романчук** (аспірантка ІТГП НАНУ у 2010-2014 рр.) [89] присвячена дослідженню і розробці методів для побудови інформаційної технології імовірного прогнозування аварій та кількісної оцінки ризиків аварій в задачах оцінки надійності і безпеки та управлінню безпекою гідровузлів як складних систем з врахуванням ризику в рамках сценарного підходу на основі байєсівських процедур перетворення ймовірностей.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [90-95]:

1. Виконано аналіз сучасних підходів і методів оцінки ймовірностей аварій, оцінки безпеки та управління безпекою гідровузлів в рамках ризик-орієнтованого напрямку досліджень в області техногенної безпеки з врахуванням особливостей гідровузлів як складних систем. Встановлено, що задачі прогнозування аварій на гідровузлах є системними задачами, обтяженими невизначеністю. Показано, що вирішення проблем імовірного прогнозування аварій та кількісної оцінки ризику аварій на гідровузлах з врахуванням різних факторів можливе в рамках сценарного підходу. Сценарне моделювання дозволяє поєднати можливості різних методів та моделей, здійснити синтез оцінок ймовірностей аварій та ризиків аварій, отриманих за допомогою різних методів за окремими сценаріями.

2. Використано сценарний підхід до оцінки ризиків аварій на гідровузлах на основі методу Байєса, що дозволило розв'язувати задачу кількісної оцінки сумарного ризику збитків від аварії на гідровузлі з врахуванням різних модельних сценаріїв, що розглядаються як несумісні аварійні події-припущення. Сформульовано положення про несумісність модельних сценаріїв аварій. Доведено, що аварія на гідровузлі може виникнути з будь-якої з довільних аварійних подій-причин, може відбутися в різних формах або видах, але розвиватиметься лише за одним зі встановлених у вигляді ідеалізованих подій-припущень сценаріїв. При цьому повний (сумарний) ризик збитків від аварії має встановлюватися з врахуванням різних несумісних сценаріїв її реалізації, а повна ймовірність аварії – з врахуванням всіх довільних аварійних подій-причин, в тому числі і сумісних.

3. Застосовано метод Байєса до імовірного прогнозування нетипових сценаріїв системних аварій на гідровузлах, пов'язаних з відмовами автоматичних засобів регулювання. Розв'язано задачі оцінки ймовірності відмови зарезервованої системи з автоматичним перемиканням на резерв та оцінки ймовірності аварії в системі з автоматичним регулюванням навантаження. За результатами імітаційного моделювання сценаріїв розвитку

аварії на гідроагрегаті №2 Саяно-Шушенської ГЕС, що відбулася в 2009 р., та виникнення аварії на верховому басейні ГАЕС Таум Саук, що сталася в 2005 р., з врахуванням відмови автоматичних засобів регулювання, встановлено, що існує деяка критична межа для ймовірності відмови автоматики, що використовується на гідровузлах, яка може оцінюватися величиною 10^{-2} , рік⁻¹, перевищення якої може призводити до зростання ймовірності аварії на об'єкті.

4. Проаналізовано особливості аварійності гідровузлів у складі каскадів з врахуванням можливості поширення гідродинамічної аварії на каскад. В рамках байєсівського підходу розглянуто задачі оцінки ймовірностей різних сценаріїв поширення гідродинамічних аварій на каскадах гідроспоруд та отримано практичні рішення з імовірнісного прогнозування таких аварій. Модифіковано метод оцінки ймовірності відмови водоскиду за пропускною здатністю як однорідної системи з неповним функціональним резервуванням та розроблено метод оцінки ймовірності відмови водоскиду за пропускною здатністю як неоднорідної системи з врахуванням пріоритету виконання функціональних запитів.

5. На основі сценарного підходу до оцінки ризику аварій з використанням методу Байєса розроблено метод оцінки значущості за Фусселем–Веслі аварійних подій на гідровузлі з метою їх ранжирування за пріоритетом безпеки. Встановлено, що ранжирування аварійних подій за значущістю в рамках сценарного підходу до оцінки ризику збитків від аварій з використанням методу Байєса дозволяє виявити як найбільш ймовірні сценарії аварій, так і сценарії, обтяжені найбільшими ризиками збитків, і, відповідно, більш повно ідентифікувати пріоритетні чинники аварійності.

6. На основі сценарного підходу до оцінки ризиків збитків з використанням методу Байєса розроблено метод обґрунтування зліченної множини аварійних подій на гідровузлі, які мають враховуватися при оцінці ризику, та вибору проектних подій екстремального характеру згідно з принципом розумно досяжного низького рівня ризику. Встановлено, що внески різних сценаріїв аварій в сумарний ризик збитків аварії на гідровузлі та внески окремих аварійних подій-причин у повну ймовірність аварії і, відповідно, в сумарний ризик збитків аварії можуть суттєво розрізнятися. При цьому обтяжені більшими збитками малоімовірні аварійні події можуть давати незначний вклад в сумарний ризик збитків, і ними, при відповідному обґрунтуванні, можна нехтувати. При нехтуванні аварійними подіями, які обтяжені незначними збитками, але часто повторюються, залишковий сумарний ризик збитків від подій, що враховуються, може сягати максимуму. Такі події слід визначати як проектні, при яких мають забезпечуватися несуча здатність гідроспоруд, функціонування обладнання тощо в нормальному режимі без порушення вимог безпеки.

Висновки

Необхідно особливо відмітити результати опубліковані в міжнародних журналах та виданнях: «Office for Official Publications of the European Communities» **S. Dvogyi**, L. Grekov, **O. Kopeika** et al. [8]; International Journal «Information Content and Processing» **O. Stryzhak** [48]; The series «Advances in Intelligent and Soft Computing» L. Globa, M. Kovalskyi, **O. Stryzhak** [49]; «Proc.

SPIE» Georgii V. Goriachev, **Dmytro Y. Dziuniak** et al. [61]; International Journal «Information Technologies and Knowledge» А. В. Палагин, В. Ю. Величко, **А. Е. Стрижак**, **М. А. Попова** [72]; International Journal «Information Content and Processing» В. Величко, **В. Приходнюк**, **А. Стрижак** и др. [82]; International Journal «Information Models and Analyses» **В. Приходнюк** [86].

Також необхідно відмітити результати, що доповідались на міжнародних наукових конференціях: у Італії, 1997 р., М.Р. Kondra, **О.В. Копійка**, А.В. Perelmuter et al. [96]; у Польщі, 2008 р., **А. Stryzhak** [97]; у Болгарії, 2009 р., **О.О. Кряжич** [98]; у Чехії, 2014 р., **В.В. Приступа** [99].

Окремо слід відзначити, що деякі з наведених результатів вже стали об'єктами права інтелектуальної власності. Зокрема, це результати, що увійшли до докторської роботи **В.В. Семко** [100-102] та кандидатських робіт **Д.Ю. Дзюняка** [103-104], **В.В. Приступи** [105].

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

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Історія Академії наук України 1918-1923: документи і матеріали / відп. ред. П.С. Сохань. Київ: Наук. Думка, 1993. – 375 с.
2. Трофимчук О.М., Миронцов М.Л. Сучасні дисертаційні дослідження Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору: інформаційні технології // Математичне моделювання в економіці. – 2018. – № 1. – С. 7–30.
3. XIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» – Київ, 2014. – 340 с.
4. XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» – Київ, 2015. – 428 с.
5. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Матеріали 15-ої Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, Пуща-Водиця, 03-06 жовтня 2016 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2016. – 258 с.
6. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях / Колективна монографія за матеріалами 16-ої міжнародної науково-практичної конференції (Київ, Пуща-Водиця, 03-04 жовтня 2017 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2017. – 252 с.
7. Копійка О.В. Методологія синтезу інформаційно-комунікаційних систем на базі єдиної інформаційної платформи: автореф. докт. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2014. 40 с.
8. Decision aiding system for the management of post-accidental situations / S. Dovgiy, L. Grekov, O. Kopeika et al. – ECSC-EC-EAEC, Brussels, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996. – 83 p.
9. Довгий С.А. Техногенное воздействие на окружающую среду в условиях города / С.А. Довгий, О.В. Копейка, В.А. Лимаренко. – К.: ГКПП ТИРАЖ, 1994. – 147 с.
10. Довгий С.А. Автоматизированная система сбора и обработки геофизической информации / С.А. Довгий, О.В. Копейка. – К.: ГКПП ТИРАЖ, 1994. – 59 с.

11. Довгий С.А. Гидродинамические модели в геофизических средах / С.А. Довгий, О.В. Копейка, В.А. Прусов. – К.: ГКПП ТИРАЖ, 1996. – 136 с.
12. Довгий С.О. Автоматизована система для підтримки прийняття рішень при ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС / С.О. Довгий, В.М. Калінін, О.В. Копійка. – К.: ГКПП ТИРАЖ, 1996. – 111 с.
13. Довгий С.А. Использование геоинформационных технологий в системах охраны окружающей среды и исследования природных ресурсов. В 4-х томах. Т. 4: Математическое моделирование техногенных загрязнений окружающей среды / С.А. Довгий, О.В. Копейка, В.А. Прусов. – К.: Наукова думка, 2000. – 284 с.
14. Новые технологии в телекоммуникации: Планирование сервисных пакетов Интернет-услуг. Методика бизнес-планирования. Книга 1 / С.А. Довгий, О.В. Копейка, С.П. Поленок, А.Е. Стрижак. – К.: Укртелеком, 2001. – 240 с.
15. Новые технологии в телекоммуникации: Выбор технологической архитектуры. Современные тенденции развития. Книга 2 / С.А. Довгий, О.В. Копейка, С.П. Поленок, А.Е. Стрижак. – К.: Укртелеком, 2001. – 281 с.
16. Приватизація, інвестиції та фондовий ринок: правові засади та практика. У 4-х т. Т. 1: Передприватизаційна підготовка та корпоративне управління у відкритих акціонерних товариствах (на прикладі ВАТ “Укртелеком”) / С.О. Довгий, О.В. Копійка, Т.І. Лозова та ін. – К.: Укртелеком, 2001. – 776 с.
17. Інформатизація аерокосмічного землезнавства / С.О. Довгий, О.В. Копійка, О.М. Трофимчук та ін. – К.: Наукова думка, 2001. – 608 с.
18. Сучасні телекомунікації: мережі, технології, економіка, управління, регулювання / Довгий С.О., Савченко О.Я., Копійка О.В. та ін. За ред. С.О. Довгого. – К.: Український видавничий центр, 2002. – 520 с.
19. Довгий С.О. Засади регіональної інформатизації / С.О. Довгий, О.В. Копійка, Ю.Т. Черепін. – К.: ВПЦ ТИРАЖ, 2004. – 540 с.
20. Дистанционное обучение. Технологические платформы / С.А. Довгий, О.В. Копейка, А.Е. Стрижак и др. – К: Аймалтиком, 2004. – 224 с.
21. Інформаційно-аналітичне супроводження бюджетного процесу / С.О. Довгий, І.В. Сергієнко, О.В. Копійка та ін.; під редакцією Довгого С.О., Сергієнко І.В. – К.: ТОВ «Інформаційні системи», 2013. – 420 с.
22. Довгий С.О. Основні елементи інформаційного забезпечення моніторингу та оперативного аналізу виконання Державного бюджету України / С.О. Довгий, О.В. Копійка, П.Б. Россов, П.М. Сіверський // Екологічна безпека та природо-користування: Зб. наук. праць. / МОН України, НАН України. – К. – 2013. – Вип. 13. – С. 88–95.
23. Семко В.В. Методологія оптимального управління об’єктом в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей: автореф. докт. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2017. 44 с.
24. Семко В.В. Модель конфлікту взаємодії об’єктів кібернетичного простору / В.В. Семко // Проблеми інформатизації та управління. – 2012. – Вип. 2(38). – С. 88–92.
25. Семко В.В. Формальний опис простору пошуку при синтезі рішень / В.В. Семко // Проблеми інформатизації та управління. – 2013. – Вип. 2(42). – С. 104–111.
26. Семко В.В. Модель взаємодії кібернетичних організмів та синтез стратегій оптимального керування в кібернетичному просторі / В.В. Семко // Проблеми інформатизації та управління. – 2013. – Вип. 3(43). – С. 75–82.
27. Семко В.В. Дослідження властивостей рішення задач конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів / В.В. Семко, О.В. Семко // Проблеми інформатизації та управління. – 2014. – Вип. 2(46). – С. 60–71.
28. Семко В.В. Використання методу інтегрального усікання варіантів при вирішенні задач конфлікту взаємодії об’єктів в просторі спостереження / В.В. Семко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2015. – Вип. № 1. – С. 59–66.

29. Семко В.В. Вирішення задачі конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів / В.В. Семко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2015. – Вип. № 2. – С. 40–50.
30. Семко В.В. Метод побудови областей керованих станів динамічного об'єкту / В.В. Семко // Математичні машини і системи. – 2015. – Вип. № 3. – С. 44–52.
31. Семко В.В. Побудова областей керованих станів динамічного об'єкта / В.В. Семко, В.І. Чепіженко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2015. – Вип. № 3. – С. 25–30.
32. Семко В.В. Модель системи виявлення вторгнень з використанням двоступеневого критерію виявлення мережних аномалій / В.В. Семко, Г.М. Гулак, П.М. Складаний // Сучасний захист інформації. – 2015. – Вип. № 4. – С. 81–85.
33. Семко В.В. Топологічний ситуаційний аналіз та синтез стратегій управління об'єктом в умовах конфлікту, невизначеності поведінки та варіативної множини об'єктів спостереження / В.В. Семко // ScienceRise. – 2016. – № 9/2(26). – С. 62–69.
34. Семко В.В. Квазілінійна система інтелектуального управління конфліктом / В.В. Семко // Зв'язок. – 2016. – № 5. – С. 68–71.
35. Семко В.В. Алгебраїчний підхід до рішення конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів / В.В. Семко // Сучасний захист інформації. – 2016. – № 3. – С. 4–10.
36. Стрижак О.Є. Трансдисциплінарна інтеграція інформаційних ресурсів: автореф. докт. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2014. 48 с.
37. Стрижак О.Є. Засоби онтологічної інтеграції і супроводу розподілених просторових та семантичних інформаційних ресурсів / О.Є. Стрижак // Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. – Київ, 2013. – Вип. 12. – С. 166–177.
38. Вишняков В.Ю. Застосування онтологічного підходу при створенні інструментів геоінформаційних систем на прикладі визначення температурних процесів на території України за даними космічної зйомки / В.Ю. Вишняков, О.Є. Стрижак, О.М. Трофимчук // Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. – К., 2013. – Вип. 13. – С. 96–113.
39. Стрижак О.Є. Знання-орієнтовні інструменти підтримки діяльності експерта / О.Є. Стрижак // Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. – Київ, 2013. – Вип. 13. – С. 114–134.
40. Стрижак О.Є. Формування таксономій шарів карт в ГІС-середовищах на основі онтологій натуральних систем / О.Є. Стрижак, М.А. Попова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2013. – № 4(63). – С. 6–54.
41. Стрижак А.Е. Онтологические аспекты трансдисциплинарной интеграции информационных ресурсов / А.Е. Стрижак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, 2014. № 65. – С. 211–223.
42. Стрижак А.Е. Операциональные характеристики онтологий / А.Е. Стрижак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, 2014. – № 66. – С. 185–193.
43. Стрижак О.Є. Інструменти інформаційно-аналітичного супроводу процесів моніторингу / О.Є. Стрижак // Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. – Київ, 2014. – Вип. 14. – С. 180–191.
44. Стрижак О.Є. Онтологія задачі вибору та її застосування при аналізі лімнологічних систем / О.Є. Стрижак, В.В. Горборуков, О.В. Франчук, М.А. Попова // Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. – Київ, 2014. – Вип. 15. – С. 172–183.
45. Стрижак А.Е. Трансдисциплинарные онтологии – информационная платформа проведения экологических экспертиз / А.Е. Стрижак, А.Н. Трофимчук, Л.Ю. Цурика // Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. – Київ, 2014. – Вип. 16. – С. 128–137.

46. Стрижак О. Є. Методика створення онтологічного інтерфейсу у середовищі web-порталу / О. Є. Стрижак, М. А. Попова, К. В. Ляшук // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2014. – № 2 (66). – С. 78–84.
47. Стрижак О. Є. Онтологічні інформаційно-аналітичні системи / О. Є. Стрижак // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, 2014. – № 3 (67). – С. 71–76.
48. Stryzhak O. Ontology of educational standards / O. Stryzhak // *International Journal «Information Content and Processing»*, 2014. – Volume 1. – Number 4. – P. 338–349.
49. Stryzhak O. Increasing web services discovery relevancy in the multi-ontological environment / L. Globa, M. Kovalskiy, O. Stryzhak // *The series «Advances in Intelligent and Soft Computing» (AISC)*, Springer, 2014. – P. 246–251.
50. Комп'ютерні онтології та їх використання у навчальному процесі. Теорія і практика : Монографія / С.О. Довгий, В.Ю. Величко, Л.С. Глоба, О.Є. Стрижак, Т.І. Андрущенко, С.А. Гальченко, А.В. Гончар, К.Д. Гуляєв, В.М. Кудляк, К.В. Ляшук, О.В. Палагін, М.Г. Петренко, М.А. Попова, В.І. Сидоренко, О.О. Слюсаренко, Д.В. Стус, М.Ю. Терновой. – К. : Інститут обдарованої дитини, 2013. – 310 с.
51. Вишняков В.Ю. Інформаційні моделі та методи моніторингу температурних явищ підстильної поверхні Землі: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2013. 21 с.
52. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря / [Довгий С.О., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Трофимчук О.М., Андреев С.М., Березіна С.І., Бутенко О.С., Вишняков В.Ю., Крета Д.Л., Ключко Т.О., Лісовський Р.Й., Слободян В.О.]; під ред. С.О. Довгого. – К.: Інформаційні системи, 2010. – 260 с.
53. Вишняков В.Ю. Застосування даних Січ-2 для остаточного визначення пожеж, особливості їх оброблення та спільного використання з даними MODIS (TERRA) та AVHRR (NOAA) / В.Ю. Вишняков // *Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць* – 2012. – № 11. – С. 117–125.
54. Вишняков В.Ю. Тематична онтологія процесів застосування даних дистанційного зондування для моніторингу Землі з космосу / В.Ю. Вишняков // *Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць*. – 2013. – № 12. – С. 135–140.
55. Вишняков В.Ю. Особливості методів визначення температурних аномалій за даними ДЗЗ MODIS (TERRA) та AVHRR (NOAA). Оцінка їх якості / В'ячеслав Юрійович Вишняков, Павло Анатолійович Ткачук // *Екологічна безпека та природокористування: збірник наукових праць*. – 2012. – № 10. – С. 81–90.
57. Дзюняк Д.Ю. Інформаційна технологія оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2017. 23 с.
58. Горячев Г. В. Метод визначення стаціонарних джерел понаднормативних викидів на основі нечітких баз знань / Г. В. Горячев, О. М. Козачко, Д. Ю. Дзюняк // *Екологічна безпека*. – Вінниця. – 2012. – № 2 (14). – С. 59–61.
59. Горячев Г. В. Ідентифікація джерел понаднормативних викидів на основі нечітких баз знань за допомогою веб-сервісів / Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк // *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. – 2014. – № 2/2014. – С. 98–102.
60. Мокін В.Б. Інформаційно-вимірювальна система оперативного екологічного моніторингу з використанням мобільних пристроїв / В.Б. Мокін, К.О. Бондалетов, Г.В. Горячев, Д.Ю. Дзюняк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – Вінниця. – 2015. – № 5 (122). – С. 116–122.
61. Mokin V. Vitalii. Information measuring systems with mobile devices for identification air pollution parameters caused by transport / Georgii V. Goriachev, Dmytro Y. Dziuniak, Konstantin O. Bondaletov, Serhii O. Zhukov, Mariusz Duk, Saltanat Sailarbek // *Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments* – 2016. – 1003128 (September 28, 2016).

62. Мокін В. Б. Метод оцінювання параметрів стаціонарного джерела викиду на основі моделі Гауса за даними оперативного моніторингу зони розсіювання / В. Б. Мокін, Д. Ю. Дзюняк // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – № 3–4. – С. 28–38.
63. Кряжич О.О. Моделі автоматизації виконання функцій і задач управління імпульсним вибухопожежним захистом хімічного підприємства: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2013. 20 с.
64. Кряжич О.А. Модели для создания информационных технологий по выполнению функций и задач управления импульсной многоплановой защитой / О.А. Кряжич // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць / М-во освіти, науки, молоді та спорту України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобального інформаційного простору. – 2012. – № 11. – С. 163–173.
65. Кряжич О.О. Проблеми побудови моделей керування імпульсними засобами вибухопожежного захисту / О.О. Кряжич // Електроніка та системи управління. – 2012. – № 3. – С. 89–96.
66. Кряжич О.О. Задоволення вимог інформаційного забезпечення управління імпульсним вибухопожежним захистом хімічного підприємства / О.О. Кряжич // Захист інформації. – 2012. – № 4 (57). – С. 115–120.
67. Кряжич О.О. Особливості системи захисту хімічного підприємства / Ольга Олександрівна Кряжич, Володимир Дмитрович Захматов // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. – 2012. – № 10. – С. 151–165.
68. Кряжич О.О. Відповідність моделі ППР імпульсної вибухопожежної безпеки потребам підприємства / Ольга Олександрівна Кряжич, Володимир Дмитрович Захматов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – (Серія «Технічні науки»: наук. зб.) – Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т, 2012. – № 3 (59). – С. 220–228.
69. Кряжич О.О. Математичні моделі забезпечення імпульсного вибухопожежного захисту хімічного підприємства / Ольга Олександрівна Кряжич, Володимир Дмитрович Захматов // Математичні машини і системи. – 2012. – № 4. – С. 168–174.
70. Попова М.А. Онтологія взаємодії в середовищі геоінформаційної системи: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2014. 20 с.
71. Попова М. А. Методика формування та використання комп'ютерних онтологій в галузі екологічної освіти : [монографія] / М. А. Попова. – К. : «СІТПРІНТ», 2013. – 200 с. : іл.
72. Палагин А. В. Инструменты поддержки процессов аналитической деятельности эксперта при тематическом исследовании информационных ресурсов и источников / А. В. Палагин, В. Ю. Величко, А. Е. Стрижак, М. А. Попова // International Journal “Information Technologies and Knowledge”. – 2010. – Vol. 4, Number 4. – Pp. 329–347.
73. Попова М. А. Модель онтологического интерфейса агрегации информационных ресурсов и средств ГИС / М. А. Попова // International Journal “Information Technologies and Knowledge”. – 2013. – Vol. 7, Number 4. – Pp. 362–370.
74. Попова М. А. Методика побудови онтолого-керованих інформаційних ресурсів як елементу комп'ютерних ділових ігор для навчання фахівців в галузі екологічної безпеки / М. А. Попова // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. – К., 2012. – Вип. 10. – С. 246–255.
75. Попова М. А. Модель онтологічного інтерфейсу агрегації розподілених інформаційних ресурсів в галузі екологічної безпеки з використанням ГІС / М. А. Попова // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. – К., 2013. – Вип. 13. – С. 135–143.
76. Попова М. А. Середовище навчально-дослідницької діяльності учнів на основі поєднання онтологічного інтерфейсу та ГІС-технологій / М. А. Попова, С. М. Бревус // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2014. – Том 40, № 2. – С. 107–114.

77. Приступа В.В. Технологічні засоби трансдисциплінарного представлення геопросторової інформації: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2014. 18 с.
78. Приступа В.В. Інформаційна технологія побудови системи OFDM з внутрібітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот в умовах впливу навмисних завад / Зайцев С.В., Приступа В.В., Яриловець А.В. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2012. – Чернігів. – № 4 (61). – С. 131–140.
79. Приступа В.В. Оцінювання завадозахищеності безпроводних мереж із сигналами OFDM з внутрібітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот / Зайцев С.В., Приступа В.В., Василенко В.М. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – Чернігів. – № 2 (65). – С. 192–201.
80. Приступа В.В. Метод вибору параметрів каскадного кодування систем відомого радіозв'язку з урахуванням впливу навмисних завад / Приступа В.В. // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. – К., 2014. – Вип. 16. – С. 184–193.
81. Приходнюк В.В. Технологічні засоби трансдисциплінарного представлення геопросторової інформації : автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2017. 20 с.
82. Величко В. Построение таксономии документов для формирования иерархических слоев в геоинформационных системах / Величко В., Приходнюк В., Стрижак А., Марков К., Иванова К., Карастанев С. // International Journal «Information Content and Processing», 2015. – С. 181–199.
83. Величко В. Ю. ГОДОС – ІТ-платформа формування трансдисциплінарних інформаційних середовищ / В.Ю. Величко, М.А. Попова, В.В. Приходнюк, О.Є. Стрижак. – Системи озброєння і військова техніка, 2017. – Вип. 1(49). – С. 10–19.
84. Приходнюк В.В. Онтологічна ГІС, як засіб впорядкування геопросторової інформації / В.В. Приходнюк, О.Є. Стрижак // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – Вип. 2(27). – С. 167–174.
85. Приходнюк В.В. Онтологічне представлення функціональності систем / В.В. Приходнюк, О.Є. Стрижак, О.Г. Лебідь // Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. – Київ, 2016. – Вип. 3–4 (22). – С. 5–23.
86. Приходнюк В. Таксономизация естественно-языковых текстов / Приходнюк В. // International Journal «Information Models and Analyses», 2016. – Volume 5. – Number 3. – С. 270–284.
87. Приходнюк В.В. Множинні характеристики онтологічних систем / В.В. Приходнюк, О.Є. Стрижак // Математичне моделювання в економіці: Збірник наукових праць, 2017. – Вип. 8. – С. 47–61.
88. Реєстр архівних документів, пов'язаних з життям, творчістю та вшануванням пам'яті Тараса Григоровича Шевченка : Монографія / С.О. Довгий, М.А. Попова, В.В. Приходнюк, О.Є. Стрижак, В.А. Яцухно. – К. : Центр розвитку особистості «УНІКУМ», 2017 – 250 с.
89. Романчук К.Г. Метод Байєса при оцінці ризиків аварій та управлінні безпекою на гідровузлах: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2017. 24 с.
90. Романчук К.Г. Сценарний підхід та метод Байєса при оцінці ризиків системних аварій на гідровузлах / К.Г. Романчук, Д.В. Стефанишин // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2016. – No 2. – С. 116–124.
91. Романчук К.Г. Метод оцінки значущості за Фусселем–Веслі модельних сценаріїв системних аварій на потенційно небезпечних об'єктах / К.Г. Романчук // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – No 2. – С. 107–115.

92. Романчук К.Г. Імовірнісний аналіз причин аварійного переповнення водосховища-охолоджувача Хмельницької АЕС / К.Г. Романчук, Д.В. Стефанишин // Екологічна безпека та природокористування. 36. наук. праць. – 2014. – Вип. 14. – С. 86–94.
93. Романчук К.Г. Імовірнісне прогнозування сценаріїв поширення гідродинамічних аварій на каскаді напірних гідроспоруд / К.Г. Романчук, Д.В. Стефанишин // Екологічна безпека та природокористування. 36. наук. праць. – 2015. – Вип. 19. – С. 91–99.
94. Романчук К.Г. Імовірнісне прогнозування аварійних ситуацій на гідровузлах внаслідок відмови водоскидних споруд за пропускною здатністю / К.Г. Романчук, Д.В. Стефанишин // Екологічна безпека та природокористування. 36. наук. праць. – 2015. – Вип. 20. – С. 70–79.
95. Стефанишин Д.В. Кількісна оцінка ризиків збитків від аварій на потенційно небезпечних об'єктах / Д.В. Стефанишин, К.Г. Романчук // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – № 1. – С. 92–99.
96. Kondra M.P. Integral estimate of risk under wind action upon structures of the encasement at chernobyl atonic power plant / M.P. Kondra, O.V. Kopyka, A.V. Perelmuter et al. // 2nd European & African Conference on Wind Engineering. Palazzo Ducale Genova, Italy. – June 22–26, 1997. – С. 1833–1840.
97. Stryzhak A. Instruments of management knowledges at teaching of the gifted children / A. Stryzhak // Ucen zdolny wyzwanien dla wspolczesnej edukacji. Praca zbiorowa pod redakcja Jana Laszczyka, Malgorzaty Jablonowskiej. – Wydawnictwo Akademii Pedagogiki Specjalnej. – Warszawa, 2008. – С. 36–42.
98. Кряжич О.А. Повышение квалификации персонала как обязательное условие процесса модернизации предприятий / О.А. Кряжич // Материалы V междунар. научно-практ. конф. «Будущие исследования – 2009». – Т. 2: Экономика. – София: Бял ГРАД-БГ, 2009. – С. 10–12.
99. Приступа В.В. Метод адаптивного управління внутрішніми та зовнішніми кодами в відомчих системах / Приступа В.В. // Materiály X mezinarodní vědecko-praktická konference «Efektivní nástroje moderních věd – 2014». – Díl 30. Moderní informační technologie. Výstavba a architektura.: Praha. Publishing House «Education and Science». Stran. 3–4.
100. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №25553 від 24.09.2008. Комп'ютерна програма "Програма для ПЕОМ щодо ведення бази даних дозволів на викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря та надання інформації громадськості" ("Дозвіл") / В.В. Семко, О.О. Михайловський; заявник та власник авторських прав Товариство з обмеженою відповідальністю "Елан"; заявл. №26809 від 22.08.2008; видане Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України; опубл. Кат. №12, Бюл. №17.
101. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №26411 від 11.11.2008. Комп'ютерна програма "Психодіагностичні методики" до тематичного блоку "Пізнай себе" Програмно-апаратного комплексу "Профорієнтаційний термінал" / В.В. Семко, О.О. Михайловський; заявник та власник авторських прав Товариство з обмеженою відповідальністю "Елан"; заявл. №27406 від 27.10.2008; видане Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України; опубл. Кат. №12, Бюл. №17.
102. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №39113 від 11.07.2011. Комп'ютерна програма "Крос-платформена клієнт-серверна технологія захищеного обміну електронними даними з використанням терміналів мобільного телефонного зв'язку" ("ТЗОД") / Семко В.В., Михайловський О.О., Гіденко О.В., Зінов'єв О.В., Мельник В.Т., Баркова В.А.; заявник та власник авторських прав Товариство з обмеженою відповідальністю "Елан"; заявл. №39558 від 20.05.2011; видане Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України; опубл. Кат. №15, Бюл. №25.

103. Дзюняк Д.Ю. ГИС-модуль розрахунку приземних концентрацій забруднюючих речовин від викидів стаціонарних джерел за методом Гауса / Г.В. Горячев, Д.Ю. Дзюняк // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №39558. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 08.09.2011.
104. Дзюняк Д.Ю. Спосіб визначення стаціонарних джерел понаднормативних викидів на основі нечітких баз знань / Г.В. Горячев, Д.Ю. Дзюняк // Патент України на корисну модель №201404006. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 27.10.2014.
105. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 52195: комп'ютерна програма “Імітаційна модель IP-мережі з адаптивним кодуванням та ортогонально-частотним мультиплексуванням” // С.В. Зайцев, В.В. Приступа, В.М. Василенко. Державна служба інтелектуальної власності. К. – 18.11.2013.

Стаття надійшла до редакції 11.05.2018.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.8:519.85:656.7

Л.Ф. ГУЛЯНИЦЬКИЙ, А.І. ПАВЛЕНКО

ОПТИМІЗАЦІЯ ШЛЯХІВ У ДИНАМІЧНОМУ ГРАФІ ПЕРЕЛЬОТІВ МОДИФІКОВАНИМ АЛГОРИТМОМ МУРАШИНИХ СИСТЕМ

***Анотація.** Розглянуто задачу пошуку оптимального маршруту авіалініями із заданими користувацькими умовами, критерієм у якій виступає мінімізація витрат на подорож. Використовуючи загальну схему алгоритму мурашиних систем, розроблено метаевристичний алгоритм для розв'язування поставленої задачі. Проведено порівняльний аналіз результатів застосування розробленого алгоритму та точного алгоритму міток на основі проведеного обчислювального експерименту.*

***Ключові слова:** динамічна задача пошуку, найкоротший шлях, оптимальний маршрут, алгоритм мурашиних систем, алгоритм міток, оптимізація мурашиними колоніями.*

Вступ

Для вирішення низки проблем маршрутизації в транспортних мережах останніми роками сформульовано багато варіантів задач пошуку найкоротших шляхів, а також розроблено нові підходи до їх розв'язування і реалізовано відповідні навігаційні та логістичні системи. Кожен варіант постановки має певні особливості з прикладного середовища – умови і обмеження, а також повинен враховувати різноманітні аспекти задачі – динамічність, залежність від часу, стохастичність, необхідність адаптивності тощо. Складність описаного типу задач перетворило їх на поле інтенсивних досліджень [1-4].

Метою є розробка та аналіз алгоритмів розв'язування задачі пошуку оптимального за вартістю шляху в мережі авіапелеріотів із заданими користувацькими умовами, серед яких: задані початковий і кінцевий пункт, часові вікна і тривалість подорожі. Розширена версія постановки задачі може включати умови обов'язкового відвідування певних проміжних пунктів у задані часові інтервали, врахування інформації про бажані авіалінії, загальну кількість пересадок і транзитний час тощо. В такому разі задачу можна розбивати на кілька підзадач пошуку проміжних шляхів між початковим і проміжним пунктом в заданому часовому вікні, пошуку шляхів між проміжними пунктами, а також проміжними і кінцевим. Іншим підходом є врахування проміжних пунктів на етапі побудови допустимих маршрутів.

Така задача актуальна для планування подорожі мандрівника авіалініями, коли вагомими критеріями є загальна вартість квитків для всього маршруту і відвідування множини пунктів у заданий часовий інтервал, але при цьому можна додавати проміжні туристичні пункти відвідування. Загальний транзитний час (проведений безпосередньо в транспорті) і кількість пересадок бажано мінімізувати.

Оскільки перельоти здійснюються за розкладом авіакомпаній, для задачі характерна змінна доступність і вартість квитків між пунктами в залежності від часу і рейсу. При цьому необхідно враховувати, що в реальних умовах алгоритм має бути адаптивним, тобто ефективно реагувати на зміну мінімальної вартості рейсів, наявність квитків тощо, а результати видавати в реальному часі.

Для подання задачі використовують графи, у яких вершини відображують пункти (міста або аеропорти), а дуги – сполучення між пунктами (рейси).

Існує два загальних підходи до подання розкладу у задачах за допомогою графів – побудова розширеного за часом графу (time-expanded graph) і побудова залежного від часу графу (time-dependent graph) [5]. Розширений за часом граф будується шляхом додавання допоміжних вершин для кожного дискретного моменту часу і рейсу. Зазначимо, що в такому випадку граф не містить кратних ребер, але має велику розмірність. Перевагою такого підходу є те, що для розширених графів можна застосовувати класичні методи пошуку шляху без значних модифікацій. При другому підході кожному пункту відповідає одна вершина, а дуга позначає наявність сполучення між пунктами. Вартість дуги визначається залежною від часу відправлення функцією (або номером рейсу).

1. Загальна схема оптимізації мурашиними колоніями

Оптимізація мурашиними колоніями (ОМК) [6, 7] широко застосовується для розв'язування широкого кола задач комбінаторної оптимізації. Вона базується на принципі використання великої кількості простих штучних агентів, які здатні будувати розв'язки через низькорівневу комунікацію, навіяну колаборативною поведінкою мурашиних колоній. В алгоритмах ОМК використовується механізм призначення рівня феромону кожній дузі, який оновлюється пропорційно якості знайденого маршруту. Штучні агенти використовують дані евристики і феромонів для побудови розв'язків.

ОМК є ітеративним методом пошуку, в якому на кожній ітерації агентами (штучними мурахами) генерується множина розв'язків на основі поточного розподілу рівня феромону у мережі та даних задачі, а потім розподіл феромону оновлюється в залежності від новознайдених розв'язків [6, 7]. Існує багато варіацій реалізації ОМК [8], серед яких: мурашині системи [9], системи мурашиних колоній [10], MAX-MIN мурашині системи [11] – ці алгоритми різняться механізмами оновлення феромону і способами генерування нових розв'язків.

Необхідно відмітити, що агенти діють незалежно і конкурентно. Хоча кожен агент є достатньо комплексною структурою, здатною знайти розв'язок (ймовірно неоптимальний), проте більш точні розв'язки отримуються в результаті колективної взаємодії між агентами. Взаємодія відбувається через

запис та використання інформації про якість сегментів шляху у так звану матрицю феромонних слідів.

Процедура оновлення феромону може збільшувати його значення на пройдених сегментах шляху після кожної ітерації або зменшувати в результаті випаровування.

Загальна схема алгоритму у випадку онлайнного відтермінованого оновлення феромону наведена на рис. 1 [7].

```

1  procedure ACO ()
2      while (критерій_завершення_не_задоволений)
3          планування_дій
4              генерація_і_дії_мурашок();
5              випаровування_феромона();
6              дії_демона(); {необов'язково}
7          end планування_дій
8      end while
9  end procedure

1  procedure генерація_і_дії_мурашок()
2      while (доступні_ресурси)
3          запланувати_створення_нової_мурашки();
4          нова_активна_мурашка();
5      end while
6 end procedure

1  procedure нова_активна_мурашка() {життєвий_цикл_мурашки}
2      ініціалізація_мурашки();
3      M = оновлення_пам'яті_мурашки();
4      while (поточний_стан ≠ шуканий_стан)
5          A =
зчитати_локальну_таблицю_мурашиних_маршрутів();
6          P = обчислити_ймовірність_переходів(A, M, Ω);
7          наступний_стан = правило_прийняття_рішення(P, Ω);
8          перейти_в_наступний_стан(наступний_стан);
9          if (онлайннове_покрокове_оновлення_феромона)
10             відкласти_феромон_на_відвіданій_дузі();
11             поновити_таблицю_мурашиних_маршрутів();
12             end if
13             M = оновити_внутрішній_стан();
14         end while
15         if (онлайннове_відстрочене_оновлення_феромона)
16             foreach відвіданої_дуги ∈ ψ do
17                 відкласти_феромон_на_відвіданій_дузі();
18                 оновити_таблицю_мурашиних_маршрутів();
19             end foreach
20         end if
21         завершити_діяльність();
22     end procedure

```

Рисунок 1 – Загальна схема алгоритму мурашиних колоній

Процедура дії_демона() в рядку 6 АСО_meta_heuristic() необов'язкова і відноситься до централізованих дій, які виконуються демоном, що володіє глобальними знаннями. В процедурі нова_активна_мурашка() шуканий_стан (рядок 4) відноситься до повного знайденого мурашкою розв'язку, тоді як процедури покрокового і відстроченого оновлення феромона в рядках 9-10 і 14-15 часто взаємно виключають одна одну. Коли вони обидві відсутні, феромон відкладає демон.

2. Математична постановка задачі пошуку оптимального шляху за наявності додаткових умов

Нехай дано направлений граф $G = (V, A)$, де $V = \{v_1, \dots, v_N\}$ – множина вершин, що позначають аеропорти, N – їх кількість, A – множина дуг, що відповідають сполученням між аеропортами. Між кожною парою вершин може існувати кілька дуг. Нехай (v_i, v_j) – множина дуг з вершини v_i до v_j , $a_{ij}^t = (v_i, v_j, t_k)$ – конкретна дуга, $a_{ij}^t \in (v_i, v_j)$, t_k – дискретний час відправлення літака з пункту v_i в пункт v_j . Для деяких вершин (напрямоків) можлива ситуація, що $(v_i, v_j) = \emptyset$, тобто граф може бути не повним. Кожній дузі a_{ij}^t відповідає значення вартості перельоту $c(a_{ij}^t)$ і час перельоту $\theta(a_{ij}^t)$.

Метою задачі є знайти оптимальний шлях з початкового пункту (вершини) $v_s \in V$ до цільового пункту $v_d \in V$, причому момент $t_s = t_0$ відправлення з v_s повинен належати заданому користувачем інтервалу: $t \in [t_{0min}, t_{0max}]$.

Назвемо *фрагментарним* маршрутом (шляхом) $P(v_i, v_j, t_k)$ з точки v_i в точку v_j і відправленням в момент часу t_k таку упорядковану послідовність дуг $(a_{i_1 i_2}^{t_{k_1}}, a_{i_2 i_3}^{t_{k_2}}, \dots, a_{i_{w-1} i_w}^{t_{k_w}})$, для якої:

$$t_{k_w} > t_{k_{w-1}} + \theta(a_{i_{w-1} i_w}^{t_{k_{w-1}}}) > t_{k_{w-2}} + \theta(a_{i_{w-2} i_{w-1}}^{t_{k_{w-2}}}) > \dots > t_{k_1} + \theta(a_{i_1 i_2}^{t_{k_1}}),$$

тобто відправлення з наступного пункту відбувається завжди пізніше, ніж прибуття, $t_{k_w} \geq t_{k_{w-1}} \geq \dots \geq t_{k_1}$. $t_{k_w} \geq t_{k_{w-1}} \geq \dots \geq t_{k_1}$.

Позначимо у довільний *повний* маршрут із початкової вершини v_s до кінцевої вершини v_d , який визначається послідовністю w фрагментарних маршрутів, тобто, $y = (P(v_{i_1}, v_{i_2}, t_{k_1}), P(v_{i_2}, v_{i_3}, t_{k_2}), \dots, P(v_{i_w}, v_d, t_{k_w}))$, де $i_1 = s, t_{k_1} = t_s$; множину всіх таких можливих маршрутів позначимо Y .

Загальний час подорожі маршрутом у визначимо як

$$\Xi(y) = \sum_{m=1}^p \theta(a_{i_m i_{m+1}}^{t_{k_m}}) + \zeta(a_{i_m i_{m+1}}^{t_{k_m}}),$$

де $\zeta(a_{i_m i_{m+1}}^{t_{k_m}})$ – час простою в пункті v_{i_m} , p – кількість дуг у маршруті y . В деяких постановках доцільно максимізувати час простою (якщо метою є побудова туристичного маршруту з зупинками в містах) або задавати межі простою.

Аналогічно, вартість переходу з вершини відправлення v_i у кінцеву вершину v_j в момент часу t позначимо $c(a_{ij}^t)$.

Вартість фрагментарного маршруту $P(v_i, v_j, t_k)$ задамо формулою

$$c(P(v_i, v_j, t_k)) = \sum_{m=1}^p c(a_{i_m i_{m+1}}^{t_{k_m}}),$$

де $a_{i_m i_{m+1}}^{t_{k_m}} \in A$ – дуги, що входять у цей маршрут.

Часовий інтервал, в якому необхідно побудувати маршрут подорожі, задається найранішим і найпізнішим часом відправлення з початкової вершини $[t_{0min}, t_{0max}]$, а також найранішим і найпізнішим часом прибуття в кінцеву вершину $[t_{dmin}, t_{dmax}]$

$$t_{0min} \leq t_0 \leq t_{0max},$$

$$t_{dmin} \leq t_d \leq t_{dmax},$$

$$t_{k_w} > t_{k_{w-1}} + \theta(a_{i_{w-1} i_w}^{t_{k_{w-1}}}) > t_{k_{w-2}} + \theta(a_{i_{w-2} i_{w-1}}^{t_{k_{w-2}}}) > \dots > t_{k_1} + \theta(a_{i_1 i_2}^{t_{k_1}}).$$

Оскільки в заданій постановці не включаються обов'язкові для відвідування проміжні пункти, вважаємо, що в кожному пункт, що належить допустимому маршруту y , можна потрапити тільки один раз. Введемо позначення:

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{якщо рейс з пункту } i \text{ в пункт } j \text{ з відправленням учас } t \text{ належить у,} \\ 0, & \text{якщо рейс з пункту } i \text{ в пункт } j \text{ з відправленням учас } t \text{ не належить у.} \end{cases}$$

Подамо умову, яка гарантує, що в кожному пункт (вершину), належний допустимому повному маршруту y , можна потрапити тільки один раз при допустимому очікуванні в декілька днів в одному пункті:

$$\sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} x_{ij*} = 1, (v_i, v_j, *) \in y.$$

Метою є мінімізація сумарної вартості подорожі, яка визначається цільовою функцією

$$f(y) = \sum_{j=1}^w c(P(v_{i_j}, v_{i_{j+1}}, t_{i_j})),$$

де w – кількість фрагментарних маршрутів, що утворюють маршрут y , $v_{i_1} = v_s, v_{w+1} = v_d$, а t_{i_j} – час відправлення з пункту v_{i_j} , тобто маємо залежність вартості подорожі від часу [9].

Задача полягає у знаходженні такого допустимого маршруту $y_* \in S \subseteq Y$, який мінімізує наведену цільову функцію:

$$y_* = \arg \min_{y \in S \subseteq Y} f(y),$$

де S – множина допустимих розв'язків – тих маршрутів, які задовольняють умови (1)-(4).

3. Алгоритм ОМК для залежної від часу задачі пошуку оптимального шляху з користувацькими умовами

Побудова графу роботи ОМК. Граф роботи ОМК ідентичний графу задачі: множина вершин і сполучень графу ОМК відповідає графу задачі $G = (V, A)$. Кожне сполучення має вагу, яка відповідає вартості рейсу на момент відправлення. Наявність сполучення і вага є залежними від часу. Множиною станів задачі вважатимемо множину усіх можливих фрагментарних шляхів.

Умови задачі вимагають побудову такого розв'язку, при якому маршрути є допустимими за часом (послідовність рейсів повинна відповідати часовому інтервалу), кожний пункт у маршруті відвідується лише один раз (хоча допустимо очікування у пунктах). На кожному кроці агент обирає наступний пункт серед тих, які задовольняють умовам (1)-(4), тобто: 1) ще не відвідувались; 2) задовольняє умовам за часом; 3) є досяжним в момент часу, більший ніж прибуття в поточний пункт. Для спрощення час можна дискретизувати, але слід мати на увазі можливість очікування в проміжних пунктах, що дозволяє включати усі пункти з наступних часових інтервалів.

Феромонний слід і евристична інформація. Феромонний слід τ_{ijt} відображує бажаність перельоту з пункту v_i в пункт v_j з відправленням в момент часу t . Евристична інформація η_{ijt} є обернено пропорційною вартістю перельоту з пункту v_i в пункт v_j з відправленням в момент часу t , тобто

$$\eta_{ijt} = 1 / c(v_i, v_j, t).$$

Конкретизація алгоритму. Позаяк величини феромонного сліду та евристична інформація для довільної пари ребер i, j графу задачі залежать і від часу t , відповідні величини τ_{ijt} і η_{ijt} подаються тривимірними матрицями.

Ініціалізація феромонної матриці. Феромонні сліди ініціалізуються таким значенням: $\forall(i, j, t), \tau_{ijt} = \tau_0 = m / C^{mn}$, де m – кількість мурах, C^{mn} – довжина туру, згенерована евристиккою найближчого сусіда. В результаті початкове значення феромону повинно бути трохи вищим, ніж очікується залишати після кожної ітерації, що сприяє уникненню обмеження простору пошуку на перших ітераціях.

Побудова розв'язку. Кожен агент при ініціалізації поміщується в стартовий пункт v_0 . На кожному кроці до часткового маршруту з використанням значень τ_{ijt} , η_{ijt} і ймовірнісної процедури додається досяжний за часом черговий пункт. Побудова маршруту завершується, якщо досягнуто кінцевий пункт v_d або більше не існує допустимих кроків (за часом).

Ймовірність переходу мурахи k , яка знаходиться в пункті i , в пункт j в момент часу t визначається так:

$$P_{ijt}^k = \frac{[\tau_{ijt}]^\alpha [\eta_{ijt}]^\beta}{\sum_{imN_{it}^k} [\tau_{ijt}]^\alpha [\eta_{ijt}]^\beta}, \quad jmN_{it}^k,$$

де $\eta_{ijt} = 1 / c(v_i, v_j, t)$ – евристична оцінка, що визначає ступінь бажаності переходу; α і β – параметри, що визначають відносний вплив феромонного сліду і евристичної інформації (стадність і жадібність алгоритму); N_{it}^k – допустимий окіл для мурахи k , що знаходиться в пункті v_i в час t , тобто множина допустимих невідвіданих вершин (міст). Пам'ять мурахи M^k використовується для виключення вже відвіданих вершин. Ймовірність вибору дуги (i, j, t) зростає зі збільшенням значень відповідного феромонного сліду τ_{ijt} і евристичної інформації η_{ijt} .

Існує два підходи реалізації побудови маршруту: паралельний і послідовний. В паралельній реалізації на кожному кроці алгоритму всі мурахи одночасно пересуваються з поточного пункту в наступний, в послідовній – одна мураха буде повний маршрут перед початком роботи наступної мурахи.

Розроблений алгоритм базується на схемі алгоритму мурашиних систем (АМС) – Ant Colony System, тому вибір наступного пункту і час відправлення в нього здійснюється за псевдовипадковим пропорційним правилом:

$$(v_j, t_{v_i}) = \begin{cases} \arg \max_{imN_{it}^k} \{ \tau_{ijt} \times \eta_{ijt}^\beta \}, & \text{якщо } q \leq q_0 \\ J, & \text{в іншому випадку} \end{cases},$$

де q – випадкова змінна, рівномірно розподілена в $[0, 1]$,

$q_0 (0 \leq q_0 \leq 1)$ – заданий параметр алгоритму,

J – випадкова змінна, обрана відповідно до заданого розподілу ймовірності.

Отже, з ймовірністю q_0 мураха здійснює найкращий перехід за даними феромонних слідів і евристичною інформацією (тобто використовує отримані знання) і з ймовірністю $(1 - q_0)$ досліджує інші дуги. Налаштування параметра q_0 дозволяє балансувати між пошуком навколо поточного кращого розв’язку (інтенсифікація пошуку) і дослідженням нових шляхів (диверсифікація пошуку).

Оновлення феромонної матриці. Після того як всі мурахи завершили побудову маршрутів, здійснюється оновлення феромонних слідів: спочатку на всіх дугах рівень феромону знижується на деяке константне значення, а потім на дугах, пройдених мурахами – підвищується.

Випаровування феромонів в загальній схемі ОМК відбувається згідно з формулою:

$$\tau_{v_i, v_j, t_{v_i}} \leftarrow (1 - \rho) \times \tau_{v_i, v_j, t_{v_i}}, \forall (v_i, v_j) \in A,$$

де ρ – параметр, що задає рівень випаровування феромону, $0 < \rho \leq 1$. Цей параметр використовується для уникнення необмеженого накопичення феромону і дозволяє алгоритму «забути» попередні розв’язки, створюючи тим умови для диверсифікації розв’язків. Тобто, якщо дуга не належить побудованим мурахами маршрутам, то її феромонний слід зменшуватиметься експоненційно кількості здійснених ітерацій.

Після випаровування мурахи залишають феромонний слід на дугах, що входять в побудований маршрут, наступним чином:

$$\tau_{v_i, v_j, t_{v_i}} \leftarrow \tau_{v_i, v_j, t_{v_i}} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{v_i, v_j, t_{v_i}}^k, \forall (v_i, v_j) \in A,$$

де $\tau_{v_i, v_j, t_{v_i}}^k$ – кількість феромону, залишеного мурахою k на відвіданих дугах; це значення визначається за формулою:

$$\Delta \tau_{v_i, v_j, t_{v_i}}^k = \begin{cases} \frac{1}{C^k}, & \text{якщо } (v_i, v_j, t_{v_i}) \in y^k, \\ 0, & \text{в іншому разі,} \end{cases}$$

де C^k – вартість маршруту y^k , побудованого мурахою k , яка є сумою ваг всіх дуг маршруту y^k .

Оновлення феромону в модифікації Ant Colony System здійснюється у два етапи – локальне оновлення і глобальне.

Глобальне оновлення феромону. Після кожної ітерації алгоритму феромон додається тільки на тих дугах, що входять в кращий маршрут T^{bs} із знайдених в поточному поколінні мурах. Тобто, оновлення здійснюється за формулою:

$$\tau_{v_i, v_j, t_{v_i}} \leftarrow (1 - \rho) \times \tau_{v_i, v_j, t_{v_i}} + \rho \Delta \tau_{v_i, v_j, t_{v_i}}^{bs}, \forall (v_i, v_j, t_{v_i}) \in y^{bs},$$

де $\Delta \tau_{v_i, v_j, t_{v_i}}^{bs} = 1 / C^{bs}$.

В такій модифікації алгоритму оновлення феромонних слідів (випаровування і додавання) стосується тільки дуг маршруту y^{bs} (а не всіх дуг графу). В цьому разі обчислювальна складність процедури оновлення феромонів на кожній ітерації зменшується з $O(n^2)$ до $O(n)$, де n – розмірність задачі. Розмірністю задачі вважаємо кількість рейсів, тобто дуг в графі.

Локальне оновлення феромону здійснюється мурахами після кожного переміщення вздовж дуги протягом побудови маршруту:

$$\tau_{v_i, v_j, t_{v_i}} \leftarrow (1 - \varepsilon) \times \tau_{v_i, v_j, t_{v_i}} + \varepsilon \tau_0,$$

де ε , $0 < \varepsilon < 1$ і τ_0 – параметри алгоритму. Значення τ_0 зазвичай покладають рівним початковому значенню феромонних слідів, $\tau_0 = 1 / nC^m$, C^m – вартість маршруту методом найближчого сусіда. Ідея такого оновлення полягає в тому, що після кожного проходу мурахи по дузі (v_i, v_j, t_{v_i}) відповідний феромонний слід зменшується, тому дуга стає менш привабливою для наступних мурах. Така процедура сприяє залученню наступних мурах до досліджень ще не відвіданих чи мало відвідуваних дуг.

4. Реалізація АМС

Основними процедурами ОМК є побудова розв'язків, управління феромонними значеннями, додаткові опціональні процедури [8]. Розглянемо детальніше кроки загальної схеми алгоритму ОМК, наведеної на рис. 1.

Ініціалізація алгоритму. На етапі ініціалізації завантажуються розклад авіаперельотів, ініціалізується таблиця феромонів, розраховуються параметри алгоритму, сутності мурах та статистичні дані (наприклад, найкращий розв'язок).

Умова припинення роботи алгоритму. Алгоритм завершує свою роботу, якщо виконується щонайменше одна умова припинення. Можливими умовами припинення є:

- 1) алгоритм знайшов розв'язок на заданій відстані від відомої нижньої межі якості оптимального розв'язку (тобто задається допустима похибка);
- 2) була досягнута максимальна кількість побудованих маршрутів або ітерацій алгоритму;
- 3) алгоритм показує ознаки застою (стагнації).

Правило прийняття рішення. Правило прийняття рішення реалізується так:

1) Випадковим чином визначити значення змінної q , рівномірно розподіленої на відрізку $[0,1]$. Значення ϵ у подальшому експерименті було рівним 0.1.

2) Визначити наступний перехід за формулою (6).

Деталізована схема роботи алгоритму наведена на рисунку 2. Побудова маршруту здійснюється мурахами паралельно.

```
procedure ACS ( $y$ )
  ініціалізація_алгоритму;
  while критерій_завершення_не_задоволений do
    формування_популяції_мурах
  foreach мураха_з_популяції do      {життєвий цикл мурахи}
    ініціалізація_мурахи;
     $M$  = оновлення_пам'яті_мурахи;
    while умова_припинення_пошуку_не_виконана do
       $A$  = локальна_матриця_мурашиних_маршрутів;
       $\Pi$  = сформуувати_множину_припустимих_вершин;
       $p$  = обчислити_ймовірність_переходів( $A, M, \Pi$ );
      наступний_стан = правило_прийняття_рішення( $p, \Pi$ );
      перейти_в_наступний_стан(наступний_стан);
      локальне_оновлення_феромону;
      поновити_матрицю_мурашиних_маршрутів_ $A$ ;
       $M$  = оновити_внутрішній_стан;
    endwhile
    завершити_діяльність;
  endforeach
  глобальне_оновлення_феромону;
  оновлення_рекорду_і_статистичної_інформації ( $y$ );
endwhile
end
```

Рисунок 2 – Обчислювальна схема АМС

Оновлення таблиці феромонів. Оскільки в роботі реалізовано підхід на основі АМС, оновлення феромонної матриці виконується у два етапи: зниження рівня феромонів після кожного розглянутого переходу (процедура локальне_оновлення_феромону на рис. 2) і підвищення після визначення рекорду в поточному поколінні (процедура глобальне_оновлення_феромону), що реалізуються за формулами (7)-(8).

Статистична інформація АМС. Останнім кроком в реалізації АМС є збереження та повернення статистичних даних алгоритму (прикладом можуть бути найкращий знайдений розв'язок у з початку запуску алгоритму або номер ітерації, на якій було знайдений найкращий розв'язок).

5. Порівняльне дослідження ефективності розробленого алгоритму АМС і алгоритму міток

Оскільки при розв'язуванні практичних задач комбінаторної оптимізації досить рідко вдається отримати прийнятні теоретичні оцінки точності чи трудомісткості алгоритмів, основним інструментом сучасних дослідників алгоритмів є обчислювальний експеримент. Важливою складовою таких експериментів виступає розв'язування тестових задач, але найбільший інтерес викликає аналіз результатів розв'язування задач з реальними даними.

Дані для обчислень (розклад авіаперельотів) було отримано за допомогою API пошукових клієнтів SkyScanner [12] і QrxExpress [13] по аеропортах Європи за перший тиждень жовтня 2017 року. Час був дискретизований по днях для спрощення. В різних прикладах були обрані різні частини завантаженого розкладу для пришвидшення обчислень і наочності результатів.

Результати, отримані розробленим АМС, порівнювались із відповідними розв'язками, знайденими відомим точним алгоритмом міток [5], тобто з глобальними оптимумами.

Обчислювальні експерименти нами проводились на персональному комп'ютері з процесором Intel® Core (TM) i7-4790 CPU @ 3.60GHz, RAM 32.0 GB, 64-бітною операційною системою Windows 10, x64 процесором.

На рис. 3 наведено порівняння часу роботи алгоритму міток і розробленого АМС в залежності від розміру таблиці розкладу. Для проведення експерименту алгоритм запускався з параметрами, наведеними в табл. 1.

Таблиця 1 – Визначення параметрів АМС для обчислювального експерименту

Параметр	Значення/умова
Кількість елементів розкладу	34-746
α	0.1
β	2
Умова припинення роботи алгоритму	Не відбувалось покращення рекорду протягом 10 поколінь
Максимальний час очікування в пункті	7 днів
Максимальна кількість кроків мурахи	20
τ_0	0.1
Кількість мурах в колонії	25
ε	0.1
q_0	0.5

У табл. 2 наведено середні значення часу роботи (мс) по 10 запусках алгоритму АМС для кожної величини розміру розкладу.

Результати проведених досліджень проілюстрували, що для розкладу малих розмірів алгоритм міток працює швидше, ніж АМС, проте для розкладів з кількістю елементів більше ніж 400, час роботи АМС

збільшується несуттєво, на відміну від алгоритму міток. Для розкладу з 746 рейсами алгоритм міток в середньому працює півгодини, у той час коли АМС – одну хвилину. Очевидно, що для розв’язування задач більшої розмірності в реальному часі алгоритм міток є незадовільним за часом. Алгоритм міток і АМС обидва знайшли точні розв’язки, тому похибки не аналізувались.

Таблиця 2 – Середні значення часу (мс) роботи алгоритмів у залежності від розмірності задачі

Розмір таблиці розкладу	Кількість пунктів	Кількість днів	Час роботи алгоритма міток	Час роботи АМС	Розмір таблиці розкладу	Кількість пунктів	Кількість днів	Час роботи алгоритму міток	Час роботи АМС
34	5	4	21	1676	256	11	4	410	5868
40	5	5	67	1575	318	11	5	3398	9675
50	5	6	160	1643	384	11	6	37815	16400
57	5	7	337	1729	445	11	7	325711	24035
65	6	4	56	1982	293	12	4	518	6529
78	6	5	236	2176	364	12	5	4895	10373
96	6	6	982	2432	439	12	6	62245	17823
111	6	7	3369	2954	507	12	7	518219	31075
97	7	4	92	2537	297	13	4	536	9053
118	7	5	511	3066	370	13	5	4841	10593
144	7	6	2472	4857	447	13	6	59407	18175
167	7	7	15017	5428	515	13	7	526261	28623
123	8	4	133	3011	359	14	4	703	9169
152	8	5	701	3335	446	14	5	7493	14944
183	8	6	4842	4825	540	14	6	116210	25626
213	8	7	24245	6752	625	14	7	1188713	40303
163	9	4	205	3278	395	15	4	731	11177
202	9	5	1302	4664	494	15	5	8480	17892
243	9	6	10127	7301	598	15	6	144635	35026
281	9	7	68781	10615	692	15	7	1502587	51272
187	10	4	277	5028	423	16	4	809	12312
232	10	5	1886	5641	530	16	5	9353	19945
280	10	6	13912	9165	640	16	6	161413	36610
321	10	7	106464	13783	746	16	7	1735794	58271

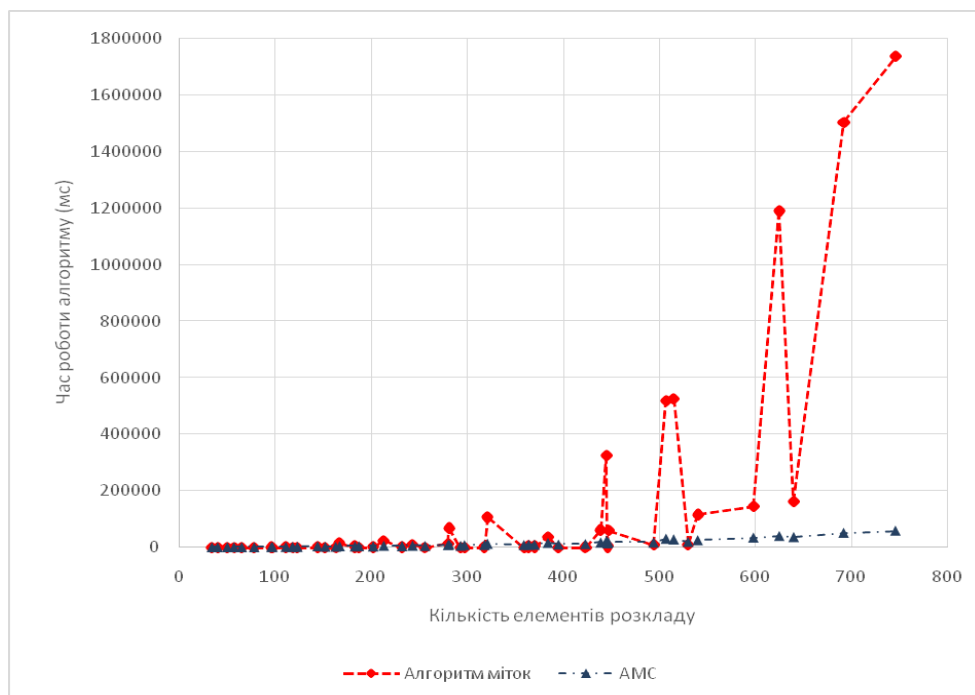


Рисунок 3 – Час роботи алгоритму міток і розробленого АМС в залежності від розміру таблиці розкладу

Висновки

Наведено постановку і математичну модель задачі пошуку оптимального шляху в мережі авіаперельотів із рядом користувацьких умов. Подано опис класичного АМС та розробленого модифікованого алгоритму для розв'язування поставленої задачі. Виконано порівняльне дослідження розробленого наближеного АМС і точного алгоритму міток. Результати дослідження показали, що АМС досягає кращих результатів за часом для задач великої розмірності, в той час як обидва алгоритми знаходять оптимальні розв'язки, тому похибка близька до нуля для АМС і нульова – для алгоритму міток. Метою наступних досліджень може стати з'ясування показників точності отримуваних результатів та часу роботи АМС у залежності від параметрів алгоритму, розмірності графу задачі, значень похибки та характеристик обмежувальних умов, а також дослідження підходу багатокрокового зору мурахи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Pajor T. Algorithm Engineering for Realistic Journey Planning in Transportation Networks [Text]: Dissertation. Doktors der Naturwissenschaften / Thomas Pajor. – Potsdam, 2013. – 266 p.
2. Гуляницький Л. Ф. Моделювання залежних від часу проблем пошуку оптимальних маршрутів: огляд / Л. Ф. Гуляницький, А. І. Павленко. // Математичне моделювання в економіці. – 2017. – № 1-2(8). №1. – С. 102–116.

3. Omer J. Time-dependent shortest path with discounted waits / J. Omer, P. Michael. // hal.archives-ouvertes.fr/hal01836007. – 2018.
4. Du K. Search and Optimization by Metaheuristics. Techniques and Algorithms Inspired by Nature / K. Du, M. Swamy. – Basel: Birkhäuser, 2016. – 434 с.
5. Павленко А.І. Розв’язування багатокритеріальної задачі пошуку оптимального шляху в динамічних мережах алгоритмом міток // Теорія оптимальних рішень. – 2017. – С. 58–63.
6. Dorigo M. Ant Colony Optimization / M. Dorigo, T. Stutzle. – Cambridge, MA: MIT Press, 2004. – 305 p.
7. López-Ibáñez M., Stützle T., Dorigo M. Ant Colony Optimization: A Component-Wise Overview. In: Handbook of Heuristics (eds. Martí R., Panos P., Resende M.). – Cham: Springer, 2016. – P. 1-37.
8. Гуляницький Л. Ф. Прикладні методи комбінаторної оптимізації: навч. посіб. / Л. Ф. Гуляницький, О. Ю. Мулеса. – К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2016. – 142 с.
9. Mei Y. Efficient meta-heuristics for the multi-objective time-dependent orienteering problem / Y. Mei, F. Salim, X. Li. // European Journal of Operational Research. – 2016. – №2. – С. 443–457.
10. Dorigo M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem / M. Dorigo, L. Gambardella. // IEEE Transactions on evolutionary computation. – 1997. – №1. – С. 53–66.
11. Stützle T. MAX–MIN ant system / T. Stützle, H. Hoos. // Future generation computer systems. – 2000. – №8. – С. 889–914.
12. Travel APIs - Skyscanner [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://partners.skyscanner.net/affiliates/travel-apis>.
13. QPX Express API | Google Developers [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://developers.google.com/qpx-express>.

Стаття надійшла до редакції 11.06.2018.

УДК 004.7

В.М. ВАСИЛЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕТЕРМІНОВАНИХ ТА ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ПЕРЕМЕЖУВАЧІВ ТУРБОКОДІВ

***Анотація.** В роботі розглядаються різні види перемешувачів, їх структура, параметри та вплив на властивості турбокодів в безпроводових системах передачі даних. Показано результати імітаційного моделювання характеристик достовірності інформації для каналу з адитивним білим гауссівським шумом з використанням детермінованих та псевдовипадкових перемешувачів в структурі кодерів та декодерів турбокодів. Запропоновано найбільш ефективний перемешувач для побудови адаптивних систем передачі з кодуванням.*

***Ключові слова:** перемешувач, структура, турбокод, безпроводові системи передачі даних.*

Вступ

З розвитком безпроводових систем передачі даних все більшою популярністю користуються турбокоди. Аналіз турбокодів показує, що пристрої перемешування вхідної послідовності (перемешувачі) є досить важливими елементами структури турбокодів, а їх вибір впливає на властивості турбокодів. Оскільки у відомих роботах питанням систематизації та дослідженню властивостей перемешувачів приділяється недостатня увага, то постає задача систематизації принципів їх побудови та аналізу алгоритмів функціонування.

1. Виклад основного матеріалу

На рис. 1 показана структурна схема модифікованого кодера ТК (розглядається двокомпонентний ТК). Кодер ТК складається з каскадної побудови паралельно з'єднаних рекурсивних систематичних згорткових кодів (РСЗК), розділених пристроєм перемешування.

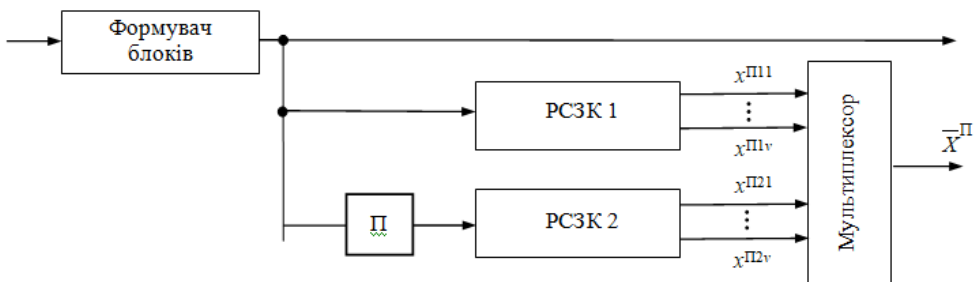


Рисунок 1 – Структурна схема модифікованого кодера ТК

Використання перемежувача забезпечує:

1. Чередування біт вхідної послідовності перед передачею та зворотною операцією після прийому, що приводить до рознесення пакета помилок в часі.
 2. Перетворення вхідної інформаційної послідовності таким чином, щоб комбінації кодових слів з низькою вагою на виході РСЗК1 були перетворені в комбінації з великою вагою на виході РСЗК2, тим самим забезпечуючи невелике число кодових слів малої ваги вихідної послідовності.
 3. Мінімізацію кореляції між послідовностями на входах декодера.
- Існує велика кількість видів перемежувачів, виділимо серед них два основних класи. На рис. 2 зображена ієрархія класів та видів перемежувачів.

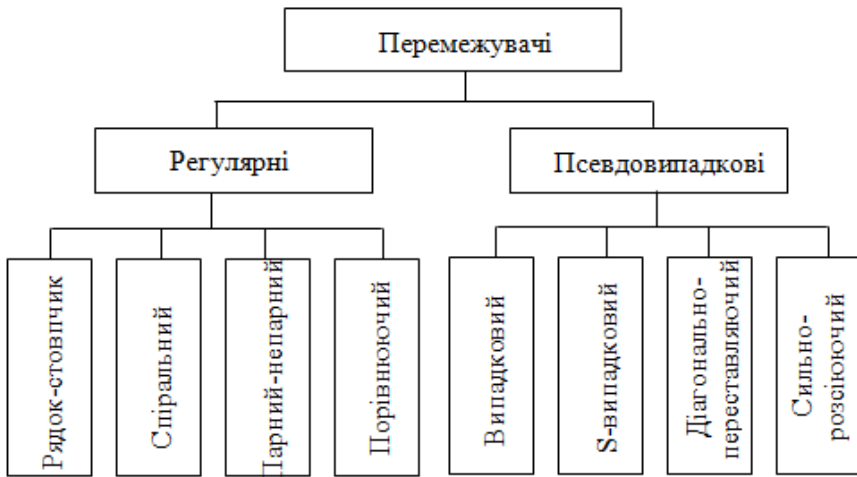


Рисунок 2 – Види перемежувачів

Основні види перемежувачів, такі як рядок-стовпчик чи випадковий, описані та проаналізовані в багатьох роботах, тому розглянемо менш відомі види перемежувачів та принцип їх функціонування.

Перемежувач Берроу-Глав'є. Берроу та Глав'є вирішили використати неоднорідні перемежувачі для ТК в [1], для того щоб розбити низьковагову кодову структуру, яка зв'язана з блоковим перемеженням, як це показано на рис. 3.

Перемежувач Берроу-Глав'є визначається кількістю рядків $n_1 = 2^m$ та кількістю стовпчиків $n_2 = 2^x$, де m, x – цілі числа, та набором простих чисел $p\{l\}, l = 1..8$. Ці набори параметрів включають в себе псевдовипадкові елементи.

Кожну вхідну позицію i та вихідну позицію $\pi(i)$ можна описати наступними виразами:

$$\begin{aligned} r_0 &= i \bmod C, \\ c_0 &= \frac{(i - r_0)}{C}, \end{aligned} \tag{1}$$

$$l = (r_0 + c_0) \bmod 8,$$

$$r(i) = (p(l+1) * (c_0 + 1) - 1) \bmod R,$$

$$c(i) = ((\frac{C}{2} + 1) * (r_0 + c_0)) \bmod C,$$

потім

$$\pi(i) = c(i) + C * r(i). \quad (2)$$

Перші два рядки матриці транспонуються, третій рядок вибирає просте число із серії $p\{l\}$ відповідно до транспонованого рядка та стовпчика двійкового розряду. Четвертий рядок вибирає наступний рядок в залежності від вибраного простого числа із серії $p\{l\}$. П'ятий рядок вибирає новий стовпчик, так що символи у сусідніх стовпцях при вході у перемежувач розташовуються у $(\frac{C}{2} + 1)$ стовпчиках, крім випадку виходу з перемежувача.

UMTS-перемежувач. UMTS-перемежувач був розроблений для систем мобільного зв'язку 3-го покоління (3GPP). ТК використовує компонентний код, який має 8 станів і використовується для частин системи, де потрібно досягнути BER на рівні $10^{-3} - 10^{-6}$. Однак реалізація UMTS-перемежувача є досить складним триступеневим процесом. Сутність етапів перемеження інформаційних символів полягає у наступному:

1) На першому етапі вхідна інформаційна послідовність записується в прямокутну матрицю рядок за рядком. Допустимими є тільки деякі розміри: конкретні розміри матриці визначає деяке просте число p , яке використовується на другому етапі. Перемежувач може мати або 10, або 20 рядків.

2) Другий етап – внутрішньо-рядкова перестановка. Тобто позиції біт перерозподіляються в кожному рядку. Для даного етапу потрібна таблиця відповідності для визначення перетвореного кореня, заснованого на значенні p , та зберігання множини простих чисел, які не являються співмножниками $p - 1$. Перетворений корінь і послідовність простих чисел використовується для виконання двохступінчатої внутрішньо-рядкової перестановки.

3) Третій етап – міжрядкова перестановка. Даний етап також потребує наявності таблиці для зберігання трьох можливих моделей міжрядкової перестановки, які забезпечують «гарний» розподіл для різноманітних довжин перемежувача. Далі інформаційні символи зчитуються стовпчик за стовпчиком. Повна інформація про реалізацію UMTS-перемежувача дається в технічній документації 3GPP[2].

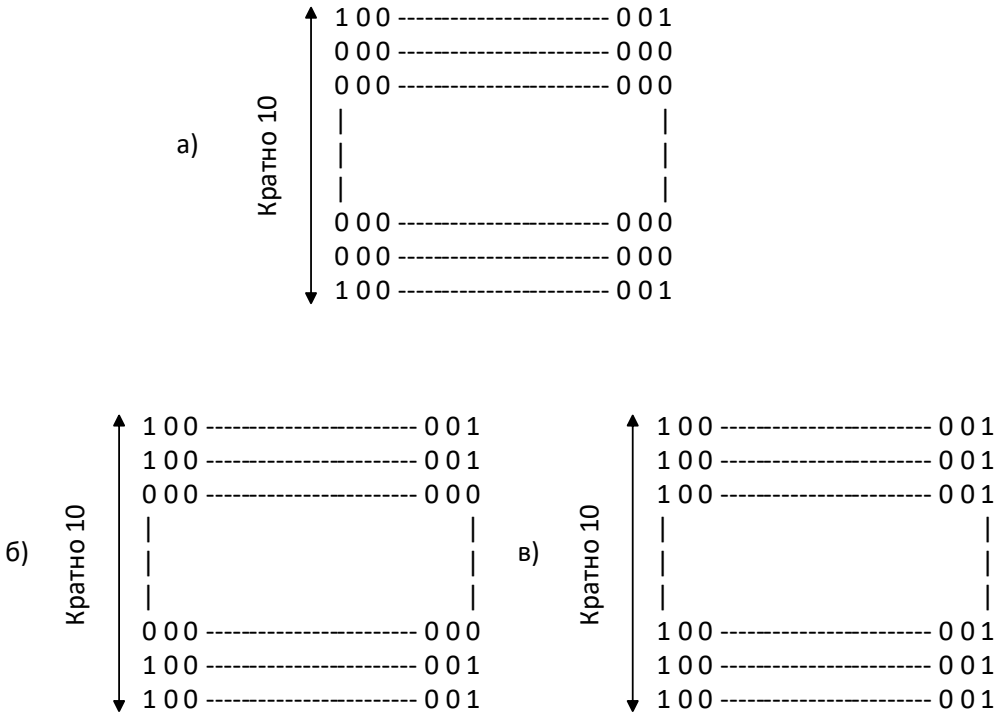


Рисунок 3 – Загальні обмежені кодові слова блокового перемежувача та ТК з $G = [23, 37]$:

- а) вхідні послідовності з інформаційною вагою 4, що формують загальні обмежені кодові слова блокового перемежувача;
- б) вхідні послідовності з інформаційною вагою 6;
- в) вхідні послідовності з інформаційною вагою 9

Головна перевага алгоритму UMTS-перемеження полягає у тому, що він може створювати «гарний» розподіл помилкової комбінації для перемежувача довжиною від 320 до 5144 біт – це гарна характеристика для гібридних мереж передачі голосу або даних. Результатом є те, що UMTS-перемежувачі можуть бути згенеровані автоматично, що усуває необхідність зберігання декількох перетворень. UMTS-перемежувач має частоту виникнення помилок, яку можна порівняти з псевдовипадковим перемежувачем. Проте алгоритм UMTS не буде працювати для всіх довжин блоків. Система UMTS потребує, щоб 134 «материнські» шаблони перемеження зберігались таким чином, щоб пакети різної довжини могли бути закодовані. Ця складність може завадити його реалізації в деяких системах.

Перемежувач «рядок за рядком», або порядковий перемежувач. Перемежувач «рядок за рядком» є модифікацією блокового перемежувача [2-7]. Сутність модифікації блокового перемежувача полягає в тому, що складається з n_1 рядків та n_2 стовпців ($n_1 \leq n_2$) та зводиться до наступного:

1. інформаційні символи записуються послідовно рядок за рядком;

2. множина цілих чисел $S(r) = S_1, S_2, \dots, S_i$ присвоюється групам M рядків у перемежувачі в циклічній формі, в котрій номер рядка є фактором n_1 , S_1, S_2, \dots, S_i – прості числа відносно n_2 ;

3. позиції символів кожного рядка кодуються за формулою:

$$n_{2_{new}} = (S\{r \bmod M\} * C) \bmod n_2, \tag{3}$$

де r – номер рядка; C – номер стовпчика; $n_{2_{new}}$ – перемежений стовпчик.

4. Далі інформаційні символи зчитуються по стовпчиках один за одним.

На рис. 4 наведений фрагмент реалізації перемежувача «рядок за рядком».

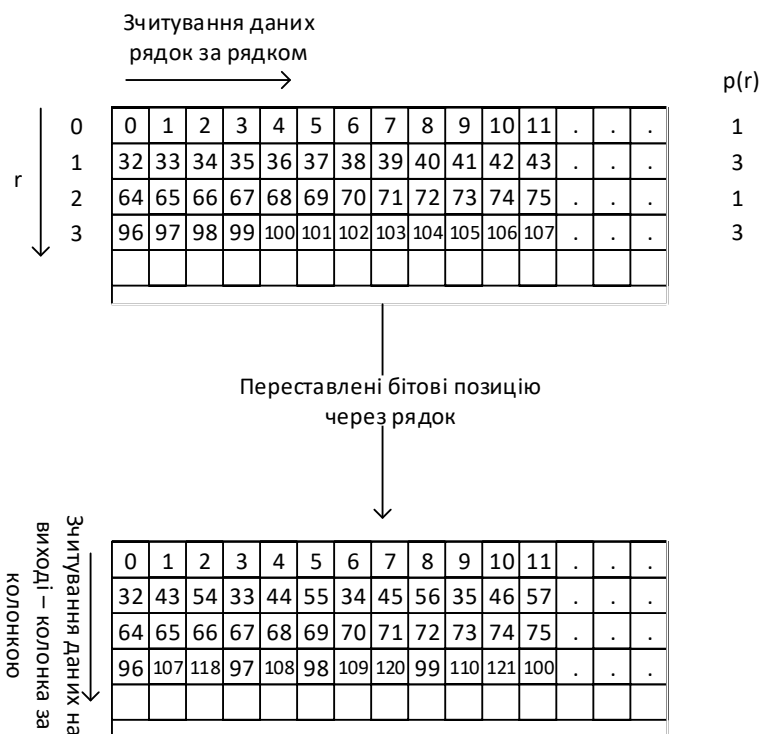


Рисунок 4 – Фрагмент перемежувача «рядок за рядком» (32x32, 1024 біт)

Для внутрішньо-рядкової послідовності прийнято $S(r) = \{1,3\}$. Ця послідовність представляє змішування альтернативних рядків. Дисперсія даного перемежувача складає $\gamma = 0.032$, що майже на порядок більше, ніж у блокового перемежувача, але й на порядок менше, ніж у псевдовипадкового перемежувача. S -параметр для даного перемежувача рівний $s = 12$, що значно менше, ніж у блокового перемежувача ($s = 31$), з матрицею розмірності 32×32 .

Зменшення s -параметра даного перемежувача в порівнянні з блоковим перемежувачем пов'язано з наявністю помилкових символів у сусідніх рядках, розташованих в одному стовпчику і при зміні однієї пари символів. Це ілюструє карта помилок, представлена на рис. 5, для одного з шаблонів з обмежувачим параметром $s = 12$.

Менші значення $S\{r\}$ призводять до більш високих значень s -параметра. У [5, 8, 9] показано, що при $S(r) = \{1,5\}$ s -параметр рівний 8, а також, що перемешувач «рядок за рядком» перемешує майже всі послідовності із заданим значенням s -параметра, інформаційна вага якого не перевищує $d = 9$; відстань між помилковими рядками така, що вони або не переставляються зовсім ($s\{r\} = 1$), або переставляються однаково ($s\{r\} = 3$). У даному випадку позиції символів співпадають з не переставленими рядками. Зі збільшенням довжини внутрішньо-рядкової послідовності $s\{r\} = \{3,7,1,5\}$ перемешуючі властивості покращуються.

Перемешувач «чотири на чотири». З метою підвищення перемешуючих властивостей перемешувача «рядок за рядком» в [3-7] було запропоновано матрицю перемешувача розділити на фрагменти розміром чотири на чотири. Інформаційні символи записуються, як і в попередньому перемешувачі, рядок за рядком. Позиції символів перемешуються. Зчитування символів проводиться по стовпцях.

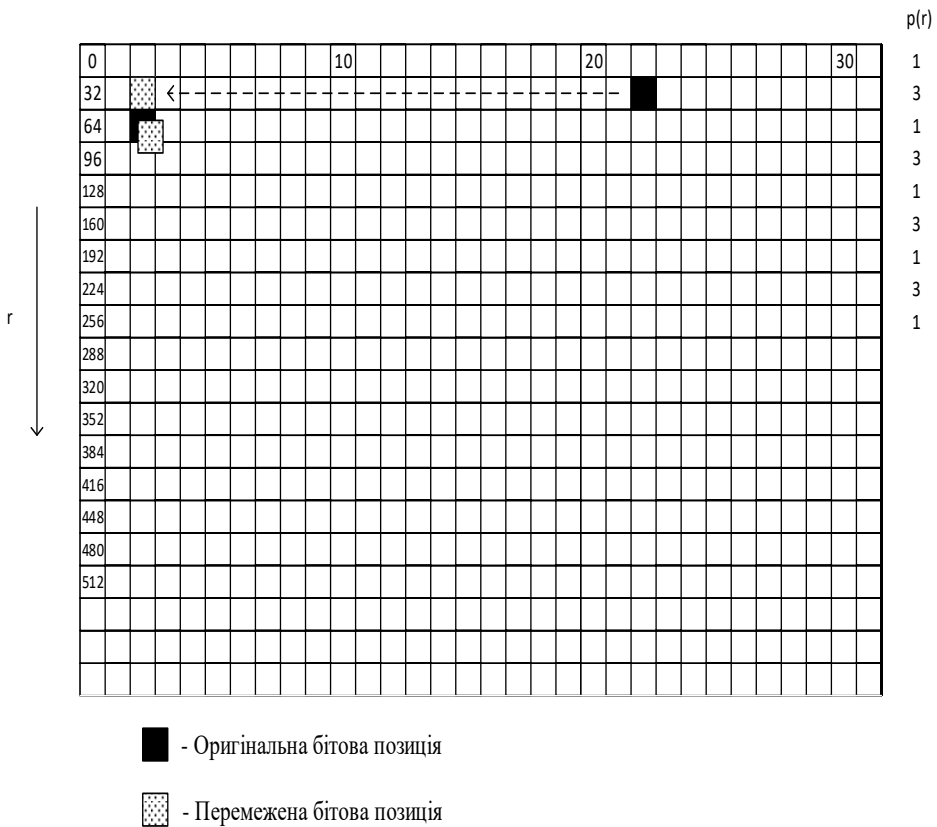


Рисунок 5 – Помилкові позиції символів, які призводять до зменшення s -параметра перемешувача «рядок за рядком»

Алгоритм роботи даного перемешувача полягає у наступному (рис. 6):

- 1) Перемешувач повинен складатися з 4і рядків та 4і стовпчиків, де і – ціле число;

- 2) Символи записуються в перемежувач по рядках;
- 3) Перемежувач розділяється на фрагменти (блоки) розмірністю 4x4;
- 4) Кожний блок 4x4 перемежується по наступній матриці:

0	3	2	1
2	0	1	3
1	2	3	0
3	1	0	2

Рисунок 6 – Шаблон перемеження

На рис. 7 представлений процес запису, перемеження і зчитування інформаційних символів при розташуванні пари позицій символів в рамках одного фрагменту 4x4 на 30 позицій один від одного. На рис. 7 видно, що при зчитуванні символів вони вже знаходяться на позиціях, відмінних від 30. Перемежені символи зчитуються стовпчик за стовпчиком.

S-параметр даного перемежувача рівний 29, а дисперсія $\gamma = 0.022$, що забезпечує ймовірність помилкового декодування ТК на рівні використання ТК з псевдовипадковим перемежувачем. Крім того, даний перемежувач чутливий до структури переданих інформаційних послідовностей. Мінімальна ймовірність помилкового декодування ТК ($P_{\text{пом.дек}} \approx 10^{-6}$) з даним перемежувачем забезпечується в каналі зв'язку з АБГШ при $\frac{E_b}{N_0} = 1.5 \text{ дБ}$.

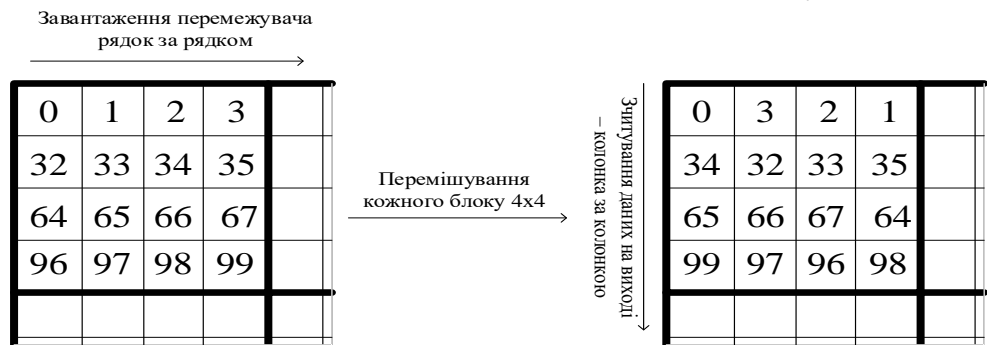


Рисунок 7 – Процес запису перемеження і зчитування інформаційних символів

York-перемежувач. Він є модифікацією перемежувача «чотири на чотири» та призначений для забезпечення високого значення s-параметра. Це можна забезпечити, якщо символ в рядку блоку 4x4 не перемежується в той же стовпчик.

Алгоритм роботи York-перемежувача полягає в наступному:

- 1) Перемежувач повинен складатися з $4i$ рядків та $4i$ стовпчиків, де i – ціле число;
- 2) Передані символи записуються рядок за рядком по всій матриці перемежувача;
- 3) Символи всього перемежувача розбиваються на блоки 4x4, а далі здійснюється кодування символів;

- 4) Перший символ в першому рядку кожного блоку присвоюється стовпцю і рядок вибирається випадковим чином;
 - 5) Другому символу в першому рядку присвоюється стовпчик (колонка), який не був присвоєний символу першого рядка; рядок вибирається випадковим чином. Рядок і стовпчик вибираються випадковим чином і вони не обов'язково повинні відрізнятися від раніше записаних рядків і стовпців;
 - 6) Цей процес повторюється до тих пір, поки всі символи в першому рядку не займуть позиції в блоці. Всі символи першого рядка повинні тепер бути в різних позиціях;
 - 7) Три інших рядка кодуються аналогічним чином;
 - 8) Далі символи зчитуються зі всього перемешувача по стовпцях.
- Процес перемешування представлений на рис. 8.

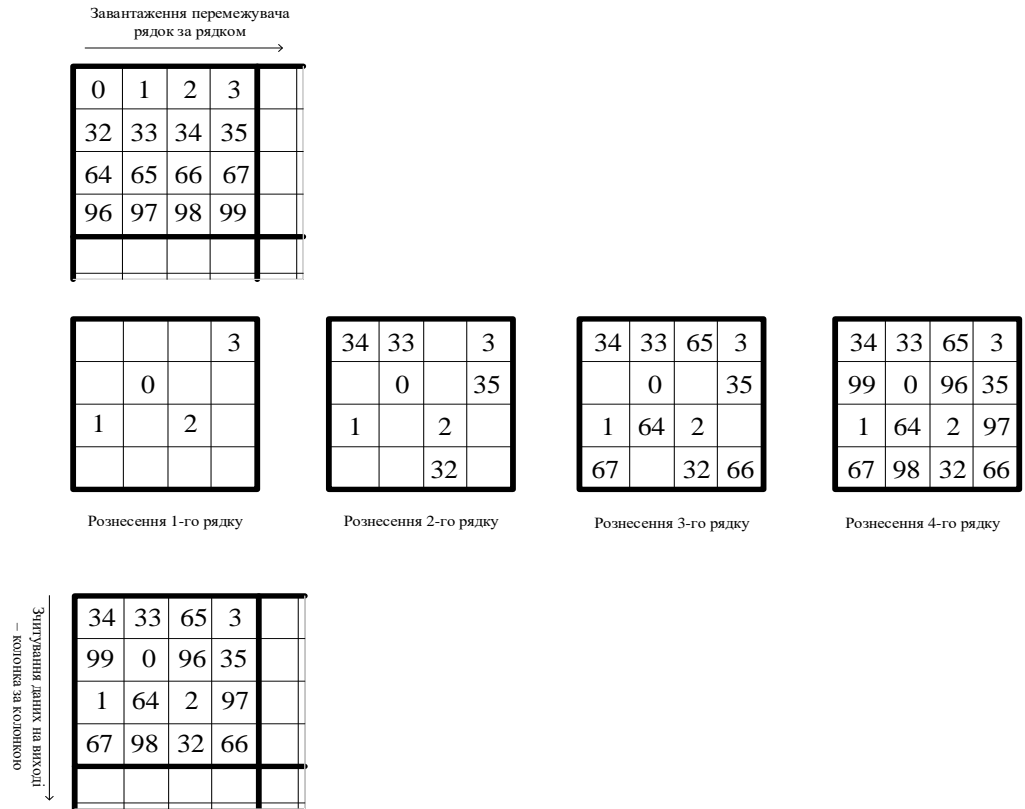


Рисунок 8 – Процес перемешування інформаційних символів
York-перемешувача

Встановлено, що s -параметр та дисперсія даного перемешувача рівні $S = 26$, $\gamma = 0.232$, що значно більше, ніж у всіх раніше розглянутих перемешувачів.

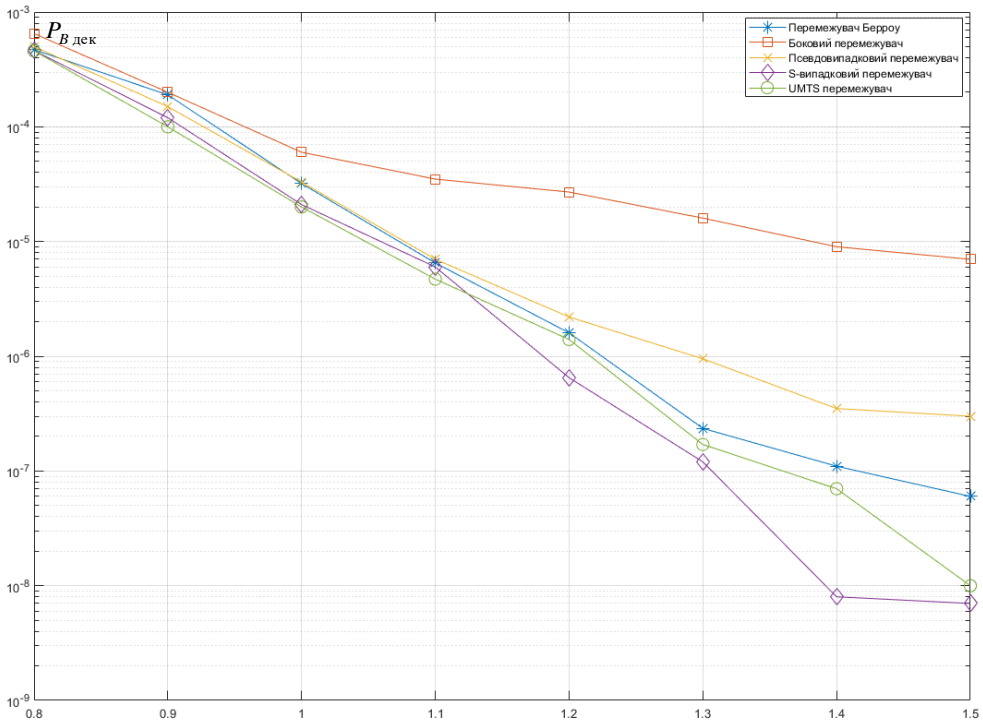


Рисунок 9 – Ймовірності помилкового декодування ТК при використанні деперемерувачів в каналі зв’язку з АБГШ при $I = 8$ ітерацій

2. Аналіз результатів

На рис. 9 показані отримані в результаті імітаційного моделювання графіки залежності середньої ймовірності бітової помилки декодування $P_{B \text{ дек}}$ від відношення сигнал/завада E_b/N_j (відношення сигнал/шум при цьому було вибрано $E_b/N_0 = 9,58$ дБ), де E_b – енергія біта, N_0 – спектральна щільність потужності білого гауссівського шуму, N_j – спектральна щільність потужності навмисної завади, представлена як обмежений по спектру білий гауссівський шум. Використовувався алгоритм декодування LOG-MAP, інформаційна послідовність довжиною $N = 1024$ біт, швидкість передачі $R = 1/3$, кількість ітерацій $I = 8$.

Аналіз результатів моделювання, показаний на рис. 9, свідчить, що із збільшенням спектральної щільності потужності завади підвищується достовірність передачі інформації та для досягнення ймовірності бітової помилки 10^{-6} отримується енергетичний вигравш у відношенні сигнал/завада:

1. S-випадковий переремерувач, переремерувач Берроу – енергетичний вигравш 0.04 дБ;
2. S-випадковий переремерувач, псевдовипадковий переремерувач – енергетичний вигравш 0.12 дБ;
3. S-випадковий переремерувач, UMTS-переремерувач – енергетичний вигравш 0.035 дБ.

Висновки

1. У роботі розглядаються різні види перемежувачів, їх структура, параметри та вплив на властивості турбокодів в безпроводових системах передачі даних.

2. Показано результати імітаційного моделювання характеристик достовірності інформації для каналу з адитивним білим гауссівським шумом з використанням детермінованих та псевдовипадкових перемежувачів в структурі кодерів та декодерів турбокодів.

3. Запропоновано S-випадковий перемежувач, як найбільш ефективний перемежувач для побудови адаптивних систем передачі з кодуванням. При цьому отримано енергетичний вигравш у діапазоні 0.035-0.12 дБ у порівнянні з іншими видами перемежувачів.

4. Для побудови адаптивних систем передачі інформації виникає необхідність додаткового дослідження зміни параметра розносу S в залежності від відношення сигнал/шум в каналі передачі даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Berrou, C. Near Shannon Turbo Codes / C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima // Proc. Of the Intern. Conf. on Commun, Geneva, Switzerland, May, 1993. – P. 1064–1070.
2. 3GPP, “Technical Specification, Group Radio Access Network (Multiplexing and Channel Coding for FDD)”, Tech. Rep., 3rd Generation Partnership Project, 1999.
3. Yuan, J. Combined Turbo Codes and Interleaver Design / J. Yuan, B. Vucetic, W. Feng // IEEE Transactions on Communications. – 1999. – Vol. 35, № 25. – P. 2194–2195.
4. Takeshita, O. New Deterministic Interleaver Designs for Turbo Codes / O. Takeshita, D. Costello // IEEE Transactions on Information Theory. – 2000. – Vol. 46, № 6. – P. 1988–2006.
5. Berrou C. Near optimum error correcting coding and decoding: turbo-codes / C. Berrou, A. Glavieux // IEEE Trans. on Commun. – 1996. – Vol. 44 (10). – P. 1261–1271.
6. ETSI TS 125 212 V3.3.0 (2000-06) DTS/TSGR-0125212U Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Multiplexing and channel coding (FDD) [Electronic resource]. – Mobile of access: www.etsi.org.
7. ETSI TS 125 222 V3.2.1 (2000-05) DTS/TSGR-0125222UR Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Multiplexing and channel coding (TDD) [Electronic resource]. – Mobile of access: www.etsi.org.
8. Pietrobon, S. A Simplification of the Modified Bahl Decoding Algorithm for Systematic Convolutional Codes / S. Pietrobon, A. Barbulescu // International Symposium on Information Theory and its Applications, Sydney, Australia, Sep. 1994. – P. 1073–1077.
9. Robertson, P. Optimal and Sub-Optimal MAP Algorithms Suitable for Turbo Decoding / P. Robertson, P. Hoeher, E. Villebrun // European Transactions on Telecommunications. – 1997. – Vol. 7, № 2. – P. 199–225.

Стаття надійшла до редакції 17.05.2018.

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 519.25; 330.33.01

О.Г. РОГОЖИН

ОСОБЛИВОСТІ ДОВГОСТРОКОВОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ДИНАМІКИ ЗА ОСТАННІ 50 РОКІВ

***Анотація.** Розглянуто теоретико-методологічні підходи до пояснення циклічного характеру довгострокової динаміки макроекономічних показників еволюційними процесами розвитку технологічної системи масового виробництва, супроводжуваних послідовною зміною провідних технологічних укладів (промислових революцій). Здійснено статистичний аналіз показників приросту ВВП та валових внутрішніх інвестицій у основних макрорегіонах світу (США, Єврозона, Японія) на інтервалі 1961(1971)-2017 рр. Його результати найкраще інтерпретуються на основі гіпотези про існування столітнього кондратьєвського циклу, що складається з двох Довгих хвиль Кондратьєва. На розглянутий період (друге півстоліття) припадає формування допоміжного до автомобільно-нафтового інформаційно-комунікаційного технологічного укладу із низхідною лінійною тенденцією темпів приросту. Згідно з результатами розрахунків, Велика рецесія 2008-2010 рр. імовірно не є початком «великої депресії» фазового переходу до нової Довгої хвилі і нового технологічного укладу, він ще не оформився остаточно в надрах попереднього.*

***Ключові слова:** економічна динаміка, емпіричний аналіз, агреговане споживання, внутрішні валові інвестиції, Довгі хвилі Кондратьєва, промислові революції, технологічні і ресурсні уклади, столітній кондратьєвський цикл.*

Вступ

Порушення макроекономічної рівноваги в процесі саморозвитку національних економічних систем під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів зумовлює явище економічної (макроекономічної) динаміки.

Багаторічні дослідження численних авторів довели існування різних за тривалістю циклічних (власне квазіциклічних) коливань економічних явищ і процесів. Одним з перших їх описав в XIX ст. К. Жугляр (як ділові або торгові цикли). Остаточно довів і пояснив цю закономірність (як промислові цикли) М.І. Туган-Барановський [1]. В XX ст. теорія економічних циклів і криз набула розвитку в роботах А. Афталюна, Г. Касселя, А. Шпітгофа,

К. Вікселя, Дж. Гобсона, С. Кузнеця, Ян Ван Гельдерена, Дж. Кітчина, В. Крама, М. Кондратьєва, Й. Шумперера тощо.

Як показано у [2, с. 140-150], основні види циклічних коливань формуються нерівномірністю руху потоків капіталів на кожному з рівнів економічної системи (взаємодією її інституційних секторів: домогосподарств, фірм і корпорацій, національної економіки, світової економіки) в процесі їх взаємної адаптації та коеволуції з циклічно змінюваними параметрами природного середовища. Й. Шумпетер встановив, що найпомітніший вплив на національну економіку справляють взаємозалежні цикли: Кітчина (з періодом 3-5 років), Жугляра (в середньому 10 років) та, особливо, Довгі хвилі Кондратьєва (тривалістю в середньому понад 54 роки). Взаємодія фінансових потоків «домогосподарства – фірми» викликає фінансово-інвестиційні цикли Кітчина (динаміку заощадження – інвестиції) [3]. Взаємодія «фірми – національна економіка» спричиняє базові для економічної динаміки ділові (промислові) цикли Жугляра (міжгалузеві переливи потоків капіталів, пов'язані з терміном життя машин і обладнання [4, с. 194]). Взаємодія «національна економіка – світова економіка» породжує великі цикли кон'юнктури – Довгі хвилі Кондратьєва (тривалі буми і депресії [5]). Відомі також будівельно-інвестиційні (відновлення пасивної частини основного капіталу) цикли Кузнеця тривалістю 20-22 рр. [6], особливо помітні в економіці США. Крім того, розглядають надвеликі цикли, зокрема зміни економічного і політичного лідерства з періодом у 100-120 років, а також – гіпотезу про столітній кондратьєвський цикл, що складається з двох Довгих хвиль, висунуту на початку 1990-х А. Грублером і М. Корольковим (незалежно один від одного). Згідно з концепцією М. Королькова [7], Довгі хвилі, що стартують на початку століття, стосуються власне інноваційних змін у базових макротехнологіях (формування нового ТУ), які зазнають подальшого розвитку у Довгих хвилях середини століття, головне призначення яких – зміни в соціально-економічній структурі суспільства, відповідні новому ТУ та ресурсному укладу, що забезпечує його розвиток протягом цього століття. Тому головним енергетичним ресурсом протягом ХІХ ст. було вугілля, а ХХ ст. – вже нафта [8].

Роль технологічної системи як основи довгострокового циклічного розвитку економіки обґрунтована в роботах Г. Менша, К. Фрімена, Дж. Кларка, Л. Суте, Дж. Дозі, К. Перес та розвинута в дослідженнях Ю. Яковця, Л. Абалкіна, В. Маєвського, С. Меньшикова й інших російських дослідників за підтримки Фонду М. Кондратьєва. В Україні цю концепцію розвивають, зокрема, В. Кузьменко, Ю. Бажал, І. Макаренко, В. Гордань. Саме еволюція техніко-економічних систем, за твердженням названих авторів, формує економічні механізми циклічних коливань динаміки ВВП, інфляції, відсоткових ставок тощо.

Довгі хвилі Кондратьєва відображають фундаментальні етапи еволюції соціально-економічних систем, що виявляються в динаміці економічної кон'юнктури та темпів економічного розвитку. Вони пов'язані з перебігом інноваційних процесів в національних та світовій економіках, зокрема із послідовною зміною *технологічних укладів* (ТУ), що супроводжується заміною на новій технологічній основі застарілих виробництв, споруд та інфраструктури. Життєвий цикл ТУ триває приблизно 100 років, а період

його домінування – приблизно 60 років, синхронізований із однією Довгою хвилею Кондратьєва.

Тобто матеріальну основу Довгих хвиль становить певний технологічний спосіб виробництва, підтриманий притаманними йому енергетичними, сировинними та людськими ресурсами, що виникає завдяки впровадженню кластера базових інновацій. Він формується двома шляхами: по-перше, революційно, коли запроваджується якісно нова макротехнологія; по-друге, еволюційно, коли на основі нової макротехнології поліпшуються і удосконалюються існуючі технології попередніх ТУ. Ці два процеси взаємодоповнюють один одного, причому в першому півстолітті домінують революційні, а в другому – еволюційні зміни [8].

Розглядаючи економічну динаміку в аспекті промислової політики розвитку, деякі дослідники, зокрема В.Т. Рязанов [9], виявляють цикли *модернізації* національної економіки. Ці періоди пов'язують із фазами зростання Довгих хвиль Кондратьєва, оскільки вони супроводжуються побудовою нового ТУ та підвищеною інвестиційною активністю капіталовкладень у основні фонди задля створення відповідних виробництв та інфраструктури.

Зрозуміло, що безпосередня ідентифікація конкретних періодичних коливань економічної динаміки здійснюється статистичними методами. Однак їх конкретизація в часі та інтерпретація фазових періодів залежить від того, на основі яких теоретико-методологічних підходів здійснено статистичний аналіз. Існують два основні підходи до ідентифікації траєкторії Довгих хвиль Кондратьєва. Перший з них спирається на *індикатори реальної економіки* (виробничі показники, динаміку зайнятості, інфляції, інвестиційної активності, різні структурні пропорції). Згідно з ним [2, с. 147-148; 10], спостерігається така хронологія зміни Довгих хвиль: I хвиля (1770 - 1830-ті рр.), II хвиля (1830 - 1880-ті рр.), III хвиля (1880 - 1930-ті рр.). IV хвиля: зростання (1936-1940 - 1966-1971 рр.); спад (1966-1971 - 1980-1985 рр.); V хвиля: зростання (1980-1985 - 2000-2007 рр.); спад (2000-2007 - 2015-2025 рр.). Згідно з цим підходом також приймається, що у зв'язку з інтенсифікацією науково-технічного прогресу цикли ущільнюються та стискаються, їх тривалість скорочується (в середньому з 50-55 рр. у XIX ст. до 40-45 рр. з другої половини XX ст.

Другий підхід використовує здебільшого *фінансові індикатори* (показники динаміки фондового ринку та динаміки дохідності облігацій). Згідно з ними [11], спад I Довгої хвилі відбувся у 1835-1844 рр., спад II Довгої хвилі – у 1875-1896 рр. Спад III Довгої хвилі тривав до початку повоєнного відновлення (впродовж 1930-1949 рр.). Тривалість I-III хвиль перевищувала 50 років, а останньої IV – 60 років; причому спостерігалася така хронологія розвитку IV хвилі: зростання (1949 – початок 1970 рр.); «первинна рецесія» (1970-1982); «плато» на піку цикла (1982 – початок 2000 рр.); спад (з початку-середини 2000 рр.).

З прогнозів, розроблених на основі цих обох методологічних підходів випливає, що в період після 2010 р. очікується розворот фази Довгої хвилі. За індикаторами реальної економіки – від висхідної до спадної півхвилі (менш глибока і тривала криза), а за фінансовими індикаторами – початок зміни хвиль (період глибокої і тривалої депресії). В теорії економічної циклічності така ситуація отримала назву «фазового перехідного періоду» між хвилями

базових інновацій (за Й. Шумпетером), технологічних революцій, технологічних хвиль (за К. Перес), періоду зміни панівних технологічних укладів (за Д. Львовим, Ю. Яковцем та іншими російськими дослідниками).

Згідно з цим, зміна домінуючих ТУ відбувається у перехідний період між сусідніми Довгими хвилями, коли реалізуються докорінні зміни, що супроводжують *технологічні революції*. Такі революції відбуваються тоді, коли домінуючий ТУ досягає економічної межі зростання, що дає можливість наступному ТУ, який почав складатися у надрах попереднього, перейти у фазу активного розвитку. Технологічна революція супроводжується масовим знеціненням традиційного капіталу, задіяного у виробництвах застарілого ТУ, скороченням таких виробництв, погіршенням економічної кон'юнктури, поглибленням зовнішньоторгових протиріч, різким зростанням соціальної і політичної напруги.

У відомому узагальненні К. Перес «Технологічні революції і фінансовий капітал» [12] стверджується, що за останні 250 років у світі сталося п'ять технологічних революцій, кожна з яких відкривала нову епоху світового панування нових макротехнологій – «технологій широкого профілю» (General Purpose Technologies) за визначенням Й. Шумпетера – як матеріальної основи масового виробництва, табл. 1.

Ці хвилі інновацій послідовно змінювали більшість галузей людської діяльності, всю економічну інфраструктуру, перебудовували стиль і спосіб життя, економічні практики, інститути, соціальні відносини та механізми суспільного регулювання. Поява надприбуткових макротехнологій призводила до виникнення нової і витіснення старої техніко-економічної парадигми людського існування, що модифікувало інституційну і соціальну структури в тих країнах, на які поширювалася технологічна революція.

Весь період технологічної революції (власне формування провідного ТУ) К. Перес поділяє на чотири основні стадії тривалістю до 20 років кожна: формування нової макротехнології; вибухоподібний прорив і шалене прискорення її розвитку; поширення впливу на всю економіку (її реорганізація і соціально-економічна гармонізація); досягнення зрілості і насичення ринків (швидке зниження прибутковості). Причому дві перші стадії відзначаються конфліктністю, а найперша – завжди супроводжується багаторічною депресією, що провокує соціально-політичні збурення на фоні різкого посилення майнової нерівності. Лише на третій стадії суспільна свідомість і інститути, нарешті, приходять у відповідність з новими умовами життя [13].

Стадія бурхливого розвитку технологічної революції наставала після особливо глибоких всесвітніх фінансово-економічних криз (нагадуємо, що саме тоді остаточно складається нова макротехнологія провідного ТУ), остання фаза яких (депресія) неочікувано розтягалася на понад 12 років через збіг в часі кризових фаз циклів Кітччина, Жугляра і Кондратьєва. Відбувалися тривалі «великі депресії», початок яких збігався з кінцевими точками довгострокового циклу економічної динаміки – Довгих хвиль Кондратьєва. Історія знає чотири тривалі періоди низької кон'юнктури: наприкінці XVIII – на початку XIX ст.; в 1850-1860 рр.; Велика депресія 1928-1942 рр. [10]; потім – енергетична криза 1970-1980-х рр. Остання депресія була суттєво послаблена і скорочена фінансовими й монетарними інструментами антикризової політики, так само, як і Велика рецесія 2008-2010 рр.

Таблиця 1 – Хвилі технологічних революцій за К. Перес [12, 13]

Технологічна революція	Усталена назва періоду	Країни економічного ядра (де відбулася)	Прорив, що розпочав революцію	Рік
Перша	Промислова революція в Англії	Великобританія	Відкриття фабрики Аркрайта у Кромфордї	1771
Друга	Епоха пару і залізниць	Великобританія, континентальна Європа, США	Випробування локомотива «Ракета» для залізниці Ліверпуль-Манчестер	1829
Третя	Епоха сталі, електрики і важкої промисловості	США і Німеччина, що перехопили ініціативу у Великобританії	Відкриття сталеливарного заводу Е. Карнегі у Піттсбурзі	1875
Четверта	Епоха нафти, автомобіля і масового виробництва	США у суперництві з Німеччиною, поширилася на Європу і СРСР	Запуск у виробництво «Моделі-Т» на заводі Г. Форда в Детройті	1908
П'ята	Епоха інформації і телекомунікацій	США, поширилася на Європу і східну Азію	Початок виробництва мікропроцесорів в «Intel»	1971

Сьогодні спостерігаємо початок кінця епохи нафти та бензинового двигуна (IV-го ТУ), що вже відпанував свої дві Довгі хвилі. Провідним сьогодні став V-й, «мікроелектронно-комп'ютерний» інформаційно-комунікаційний ТУ, що почав висуватися в лідери у 1980-х рр. з появою на ринку персональних комп'ютерів. Він ще відзначається надприбутковістю і активно поширюється, охоплюючи практично всі сектори економіки, однак цієї інерції вистачить ще не більш як на пару десятиліть.

В його тіні відбувається формування і активний розвиток основних макротехнологій нового (VI-го) технологічного укладу на основі старого доброго електродвигуна, посиленого принципово новими системами електрогенерації (сонячні, вітрові, портативні ядерні) і акумуляування (портативні батареї великої ємності і швидкого зарядження) [14]. Виникає нова інфраструктура безпілотних електрокарів і літальних апаратів. Очікують появи принципово нових виробництв на основі 3D принтерів і нових матеріалів для них (зокрема, наноматеріалів). Все це стрімко розвивається в США, Японії, Південній Кореї, Китаї, деяких країнах Західної Європи.

1. Постановка задачі та методологія емпіричного аналізу

На жаль, розвиток концепції економічної циклічності супроводжує світоглядна проблема періодичного заперечення закономірних коливань, особливо довгострокових. Ця «хвороба» зазвичай загострюється в періоди тривалих економічних піднесень в країнах-лідерах, а також завдяки реалізації успішних політик застосування монетарних інструментів їх центральними банками, здатних істотно демпфувати фінансово-економічні кризи. Такому запереченню сприяють також спроби створення чисто статистичної теорії взаємодії економічних коливань (мультициклічної економічної динаміки), тобто розгляду довгострокових коливань як статистичного артефакту, спричиненого «інтерференцією» рядів змінних. Однак, як слушно зазначає Н.Н. Куніцина [15], той факт, що Довгі хвилі можна подати як огинаючу синусоїду коротших циклів, або те, що статистичні дані часто не підтверджують наявності таких хвиль в динаміці ВВП низки країн, ще не свідчить про те, що феномена не існує в реальності. Саме С. Кузнець, який тривалий час скептично ставився до існування Довгих хвиль, фактично пояснив економічний механізм їхньої появи. Він статистично довів достатньо чітку 30-річну періодичність попарного чергування (зеркальну динаміку) сприятливих для інвестування (через зміни цінової кон'юнктури) основних промислових секторів – первинного (ресурсовидобування включно з аграрним сектором) і вторинного (переробна промисловість) [8]. Він виявив два послідовні етапи формування нового провідного ТУ – кластера основних виробництв нових товарів і послуг та кластера допоміжних виробництв його ресурсного забезпечення.

Звідси постають питання коректного вибору змінних для відображення довгострокової складової економічної динаміки, змістовної інтерпретації результатів статистичного аналізу їх рядів, встановлення точок відліку початку і закінчення певних хвиль і півхвиль коливань, ідентифікації фаз циклічної динаміки.

Відповідно, *метою статті* є спроба статистичного визначення того, у якій фазі якої Довгої хвилі Кондратьєва перебуває в наш час світова й провідні національні економіки. Тобто чи припустимо стверджувати, що закінчилася попередня Довга хвиля Кондратьєва і почався розвиток нової, а світ вже перебуває в новій «великій депресії»?

У якості індикаторів, які відображають зміни кон'юнктури, нами використано два інтегральні показники: приріст валового внутрішнього продукту (ВВП) та приріст валових інвестицій-капіталовкладень (у відсотках до попереднього року). Класичним індивідуальним макроекономічним «співпадаючим» індикатором економічних криз і піднесень є індекс промислової продукції, з яким тісно пов'язаний приріст ВВП [16, с. 32]. Динаміка агрегованого споживання (ВВП) найсильніше корельована із динамікою ділової активності (економічними намірами споживачів та бізнесу), функціонально залежною від змін цінової кон'юнктури. А динаміка капіталоутворення, тобто приросту валових внутрішніх інвестицій (gross capital formation), безпосередньо пов'язана також з прискоренням процесу технологічного переозброєння виробництв і модернізації інфраструктури.

Наведені теоретичні міркування доводять, що показники приросту ВВП та внутрішніх інвестицій мають відобразити, зокрема, початок і закінчення

фази бурхливого зростання кластеру базових інновацій нового ТУ (початок нової Довгої хвилі Кондратьєва), супроводжуваний приростом капіталовкладень в основні фонди через притаманну інноваціям властивість нелінійно збільшувати граничний продукт капіталу [2, с. 175-177]. Тому динамічні ряди річного приросту саме цих показників були використані нами для аналізу економічної динаміки у основних макрорегіонах світу.

На жаль, можливості отримання динамічних рядів економічних даних у відкритому доступі в мережі Internet визначаються обмеженнями інтерактивних баз даних Світового банку [17, 18] та ОЕСР [19]. У них показники приросту ВВП регіональних і національних економік доступні щонайдовше з 1961 р., зокрема для Єврозони, Японії, Великобританії, Франції (США, Німеччини, Китаю – з 1971 р.), а показники приросту валових інвестицій для всіх регіонів і країн – лише з 1971 р. Це обумовило не більше ніж 50-річну глибину аналізу, тобто починаючи із фази зростання IV Довгої хвилі (за фінансовими індикаторами).

З метою ідентифікації економічних циклів нами було використано дещо спрощену методику статистичної фільтрації, запропоновану 100 років тому М.Д. Кондратьєвим для виявлення довгострокових коливань кон'юнктури [5, с. 345-349]. Модифікація була необхідною з огляду на значно меншу довжину наявних для дослідження рядів та значно нижчу волатильність використаних нами показників (річний приріст ВВП та валових внутрішніх інвестицій). Стартовим етапом аналізу було згладжування динамічних рядів методом 3-річної, потім 9-річної плинної середньої. Довгострокові тенденції виявлялися на основі згладжених значень (трирічне та дев'ятирічне середнє) у формі лінійних та поліноміальних (6 порядку) трендів.

2. Особливості динаміки ВВП в основних макрорегіонах світу

Згладжування темпів приросту ВВП методом 3-річної плинної середньої на інтервалі 1961-2017 рр. (56 років, середня тривалість Довгої хвилі) виявило для ВВП Єврозони 5 повних і два пів-цикли Жугляра, з них 3 найбільш чітко виражені (за амплітудою коливань) в період 1980-2000-х рр., із чітким низхідним лінійним трендом на всьому інтервалі. Для ВВП Великобританії середньострокова циклічність має дещо іншу траєкторію – 5 повних і один пів-цикл Жугляра, причому два цикли 1990-х і 2000-х рр. практично злилися (із значно меншим градієнтом низхідної тенденції). В динаміці ВВП Японії зазначені цикли Жугляра мають меншу амплітуду на фоні чіткого низхідного тренду на всьому інтервалі. В динаміці ВВП США на інтервалі 1971-2017 рр. (46 років) спостерігається складніша динаміка: спочатку пів-цикл, потім повний цикл Кітчина, два повні цикли Жугляра, потім цикл Кітчина (до початку Великої рецесії в 2008 р.), по тому – відсутність чітких коливань.

Згладжування темпів приросту ВВП методом 9-річної плинної середньої на інтервалі 1961-2017 рр. виявило для ВВП Єврозони низхідний нелінійний тренд (з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,97$). На ньому спостерігаються два локальні екстремуми позитивних темпів приросту: вищих (наприкінці 1960-х рр.) і значно нижчих (в період кінець 1970-х – початок 2000-х рр.). А також – два екстремуми негативних темпів приросту: із меншим зниженням (початок 1980-х) та з більшим зниженням (початок 2010-х). Причому період між ними – приблизно 30 років.

Розрахункова нелінійна динаміка ВВП Великобританії на цьому інтервалі ($R^2 = 0,97$) має близький характер, однак, на відміну від Єврозони, другий екстремум позитивних темпів приросту виявився не меншим, а істотно більшим за амплітудою, ніж перший.

Близький характер згладженої траєкторії спостерігається і в нелінійній динаміці ВВП США на інтервалі 1971-2017 рр. ($R^2 = 0,853$) – негативні екстремуми наприкінці 1970-х і на початку 2010-х рр. (приблизно 30 років) та тривалий період збільшених темпів приросту у 1980-1990-х рр. (позитивний екстремум більшої амплітуди, ніж у Великобританії), рис. 1.

Для розрахованого нелінійного тренду ВВП Японії ($R^2 = 0,971$) характерні спадні коливання із близьким періодом – понад 25 років (позитивні екстремуми – середина 1960-х, кінець 1980-х, кінець 2000-х; негативні екстремуми – середина 1970-х, початок 2000-х).

Причому для ВВП Єврозони, Великобританії і США наприкінці інтервалів 1961-2017 та 1971-2017 рр. спостерігається розворот тенденції від зменшення до зростання приросту. Для ВВП Японії такий розворот після Великої рецесії фіксується лише в разі розрахунку нелінійного тренду на інтервалі 1971-2017 рр. ($R^2 = 0,973$). Лише подальші спостереження дадуть змогу статистично встановити, чи є цей розворот початком нової Довгої хвилі, а чи лише локальним екстремумом циклу меншого періоду (Жугляра).

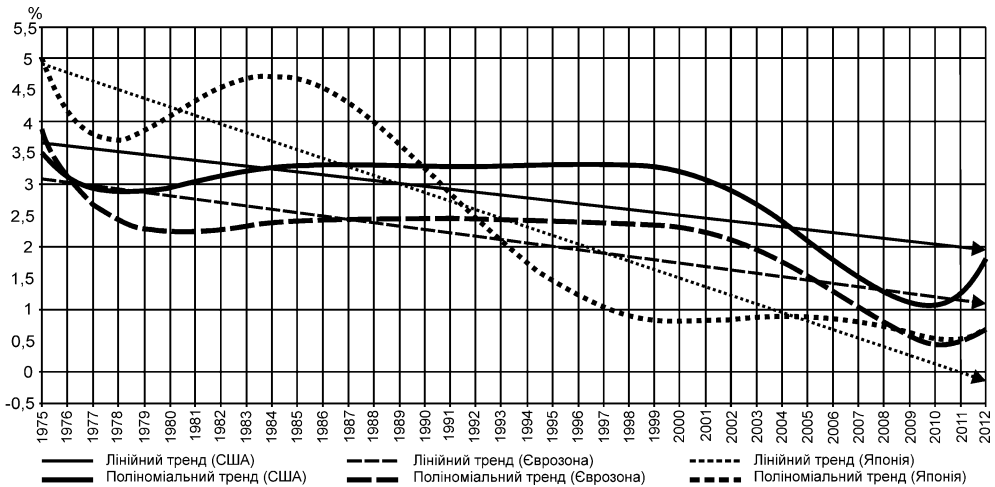


Рисунок 1 – 9-річне плинне середнє річного приросту ВВП у Єврозоні, США, Японії у 1970-2010 рр. Джерело: власні розрахунки за [17, 18, 19]

Відомо, що у тридцятиліття 1940-1960 рр. лінійна тенденція приросту ВВП США, провідних країн Західної Європи та Японії була позитивною (висхідною), розворот до стійкої низхідної тенденції стався наприкінці 1960-х, яка, можливо, досі триває. Згідно з «фінансовим» підходом (за динамікою фінансових індикаторів) це може інтерпретуватися як початок і кінець IV Довгої хвилі Кондратьєва із початком тривалої депресії фазового перехідного періоду. Згідно з «технологічним» підходом (за показниками реальної економіки) початок V Довгої хвилі припадає на 1970-ті рр. (на локальний негативний екстремум динаміки ВВП), а весь перебіг цієї хвилі – на півстолітній низхідний лінійний тренд динаміки ВВП.

3. Особливості динаміки валових інвестицій в основних макрорегіонах світу

Згладжування темпів приросту валових інвестицій методом 3-річної плинної середньої на інтервалі 1971-2017 рр. (46 років) виявило для ВВП Єврозони 4 повних і два пів-цикли Жугляра, з них 3 чітко виражені за амплітудою коливань (в період 1980-2000 рр.) із низхідним лінійним трендом та невеликим градієнтом на всьому інтервалі. Для приросту інвестицій у США на цьому інтервалі характерний ще менший низхідний градієнт, причому чітко виявляються 4 повні цикли і два пів-цикли Жугляра. У динаміці приросту інвестицій в Японії на цьому інтервалі спостерігається значно більший низхідний градієнт лінійного тренду, а також – два чітко і 2-3 нечітко виражених цикли Жугляра.

Згладжування темпів приросту валових інвестицій методом 9-річної плинної середньої на інтервалі 1971-2017 рр. виявило для Єврозони нелінійний тренд (з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,81$) із «плато» високих темпів приросту у 1980-2000 рр. та негативними екстремумами наприкінці 1970-х і на початку 2010-х (приблизно 30 років підвищених темпів приросту, найбільший приріст – на початку 1980-х рр.).

Близький характер згладженої траєкторії спостерігається у нелінійній динаміці приросту валових інвестицій в США ($R^2 = 0,649$) – «плато» високих темпів приросту у 1970-2000-х рр. (тривалістю до 30 років) та одним негативним екстремумом наприкінці 2000-х – на початку 2010 рр. (найбільший приріст – наприкінці 1990-х рр.).

Для розрахованого нелінійного тренду приросту валових інвестицій в Японії ($R^2 = 0,936$) характерні спадні коливання з періодом понад 25 років із значним позитивним екстремумом у 1980-х – на початку 1990-х та двома негативними екстремумами – наприкінці 1970-х і на початку 2000-х рр.

У 2010-х рр. фіксується розворот тенденції від зменшення до зростання приросту інвестицій для економік США (більш чіткої) та Єврозони (менш чіткої). В Японії з кінця 2000-х проглядається тенденція до повільного зростання темпів інвестування, рис. 2.

Зазначені довгострокові тенденції зміни темпів приросту валових інвестицій припустимо інтерпретувати як відображення процесу форсованого формування матеріально-технічної бази нового провідного ТУ (мікроелектронно-комп'ютерного інформаційно-комунікаційного), що розпочалося наприкінці 1970-х після Енергетичної кризи. Велика рецесія 2008-2010 рр. жорстко загальмувала цей процес (не лише в розвинених країнах), і поки що в основних макрорегіонах світу темпи інвестування не перевищили докризові значення. Інформаційно-комунікаційний ТУ формувався у США та Великобританії на початку 1980-х, отримав імпульс розвитку в Японії та ЄС на зламі 1980-1990-х, потім у США та Великобританії у 1990-х, а у 2000-х роках через перехоплення інновацій (створення потужних виробництв інноваційних товарів і послуг) – у «азійських тигрів» (Гонконг, Малайзія, Тайвань, Сінгапур, Південна Корея) та в Китаї. Тобто спостерігається різна інтенсивність формування найновішого ТУ та різні терміни хвиль його розвитку (хвиль модернізації на його основі) у різних макрорегіонах світу. Причому найбільш інтенсивне

формування технологічних укладів відбувається під час хвиль первинної індустріалізації або повоєнного відновлення економік.

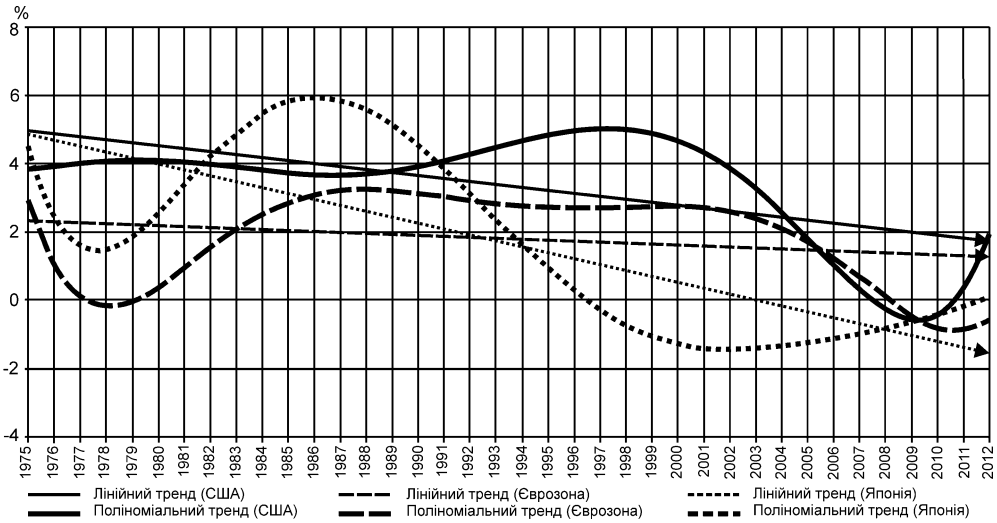


Рисунок 2 – 9-річне плинне середнє річного приросту валових інвестицій у Єврозоні, США, Японії у 1970-2010 рр.

Джерело: власні розрахунки за [17, 18, 19]

Зокрема, в Китаї пік приросту валових інвестицій збігся в часі з початком прискореної індустріалізації (модернізації економіки) в середині 1990-х рр. (захмарні темпи приросту у десятки відсотків). Наприкінці 1990-х приріст інвестування в Китаї знизився до одиниць відсотків, у 2000-х рр. він знову зріс, однак був значно меншим (до 20%), а після Великої рецесії отримав тенденцію до повільного зниження (сьогодні перебуває на рівні 6%). Тобто тут також спостерігався приблизно 30-річний період високих темпів приросту інвестування, під час якого створена потужна матеріально-технічна база IV та V-го ТУ і досягнута технологічна готовність до формування нового – VI-го ТУ.

Однак ні в розвинених країнах світу, ні в країнах із швидким розвитком економіки статистика поки що не фіксує початку тривалого періоду депресії темпів інвестування, натомість спостерігається піввікова лінійна тенденція до їх поступового зниження (у розвинених країнах), супроводжувана такою ж тенденцією до зниження граничного продукту капіталу (у світовому масштабі). Тобто за індикатором приросту валових інвестицій поточна Довга хвиля Кондратьєва та панування відповідного їй V-го ТУ ще не закінчилися. Додатковим аргументом на користь такої інтерпретації є характер динаміки провідного фондового індексу США – індексу Доу-Джонса (у постійних цінах), де прослідковується висхідний експоненційний тренд, відхилення від якого мають хвилеподібний характер, причому остання хвиля також ще не завершена (рис. 3).



Рисунок 3 – Динаміка індексу Доу-Джонса в постійних цінах.
Джерело: [20, с. 69; 22, с. 49]

Можливо, цьому сприяє глобалізація світової фінансової системи, потужні монетарні механізми якої (зокрема м'яка монетарна політика, антикризова політика «кількісного пом'якшення» та державної фінансової підтримки, збільшення військових витрат) демпфували кризу фазового перехідного періоду і відтермінували початок чергової «великої депресії».

Висновки

1. Емпіричний аналіз темпів приросту ВВП та валових інвестицій за останнє півстоліття у провідних макрорегіонах світу виявив два мінімуми приросту (під час Енергетичної кризи та Великої рецесії) з періодом приблизно 30 років на фоні загальної піввікової тенденції до зниження темпів агрегованого споживання та внутрішніх інвестицій. Такий результат не може бути задовільно пояснений в рамках класичних альтернативних концепцій виявлення довгострокових циклів (хвиль), заснованих на протиставленні динаміки фінансових індикаторів динаміці індикаторів реальної економіки.

2. Він значно краще інтерпретується з урахуванням гіпотези про існування «столітнього кондратьєвського циклу», що складається з двох різних Довгих хвиль, які стартують на початку і в середині сторіччя – радикальної та поліпшуючої. Відповідно, саме з радикальною технологічною модернізацією виробництва і інфраструктури, зокрема із створенням нової енергетики у першому півстолітті ХХ ст. (формуванням автомобільно-нафтового ТУ) пов'язані найбільші капітальні інвестиції із лінійною тенденцією до зростання темпів їхнього приросту. Тоді як у другому півстолітті переважають допоміжні поліпшуючі зусилля, що гранично удосконалюють попередній ТУ, зокрема в частині економії ресурсів. В цей

період формується «оптимізує» ТУ (мікроелектронно-комп'ютерний інформаційно-комунікаційний), що вирішує завдання створення ефективних мереж і автономних систем автоматизованого контролю і управління. Він потребує менших капіталовкладень, ніж попередній, тож має спадний лінійний тренд приросту інвестицій і агрегованого споживання.

3. Можливо, саме через це приріст значень інтегральних фінансових індикаторів (ВВП, валових інвестицій тощо) отримав спадний тренд навіть в умовах прискореного формування матеріально-технічної бази нового ТУ, рис. 4 (у «інсталізаційній фазі утвердження» нової технологічної парадигми за К. Перес). Оскільки цей новий інформаційно-комунікаційний ТУ об'єктивно відіграв роль *доповнення* до попереднього автомобільно-нафтового ТУ, надавши йому додатковий імпульс розвитку.

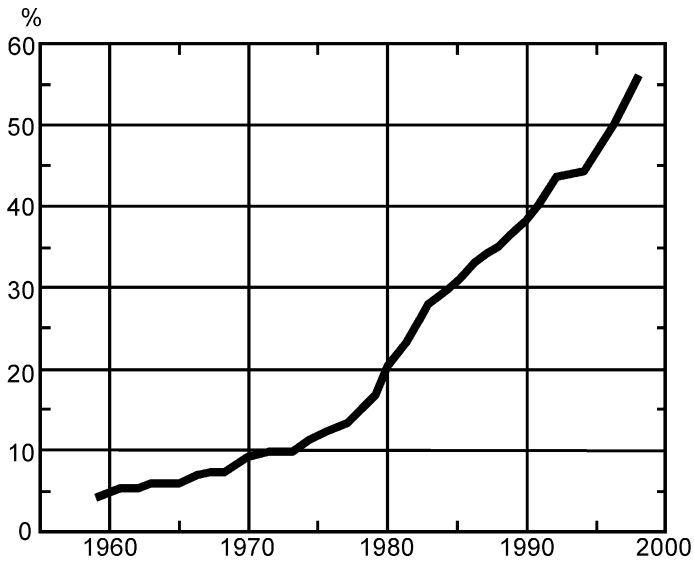


Рисунок 4 – Частка комп'ютерів і програмного забезпечення в інвестиціях у обладнання. Джерело: [20, с. 68; 21]

4. Із появою після Великої рецесії нової радикальної інновації «3D друк» та прискоренням розвитку штучного інтелекту (в рамках інформаційно-комунікаційного ТУ) стало ясно, що твердження прихильників «технологічної» концепції про ущільнення поточної Довгої хвилі не відповідає дійсності. Ймовірно, навпаки, через глобальну практику застосування антикризових монетарно-фінансових інструментів та надзвичайну потужність капіталу, пов'язаного з попереднім автомобільно-нафтовим ТУ, термін панування інформаційно-комунікаційних макротехнологій не скоротиться, а розтягнеться (можливо, до 60 років).

5. Імовірно, що збільшиться тривалість останньої стадії розвитку інформаційно-комунікаційного ТУ (стадії «зрілості і насичення ринків» за К. Перес) та її завершального періоду – «технологічного пату» (псевдоінновацій за Г. Меншем). Тобто схоже, що Велика рецесія 2008-2010 рр. ще не є початком тривалої депресії нового «фазового перехідного періоду», лише підготовкою до нього. В найближчі роки на рівні статистичних спостережень має з'ясуватися, що нова велика депресія і

пов'язані з нею революційні зміни ще попереду. Альтернативним, але менш імовірним поясненням може бути значне збільшення тривалості депресивного періоду фазового переходу між двома Довгими хвилями, що матиме закономірним наслідком посилення й поглиблення очікуваних соціально-економічних і політичних катаклізмів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Туган-Барановский М.И. Избранное. Периодические промышленные кризисы. История английских кризисов / М.И. Туган-Барановский. – М.: Наука, Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1997. – 574 с.
2. Національна інноваційна система України: проблеми і принципи побудови / Макаренко І.П., Копка П.М., Рогожин О.Г., Кузьменко В.П. / За наук. ред. І.П. Макаренка. – К.: Інститут проблем національної безпеки, 2007. – 520 с.
3. Kitchin J. Cycles and Trends in Economic Factors / Review of Economic Statistics, January, 1923 preliminary Vol. V.
4. Макаренко І.П. Макроекономічні умови формування та управління розвитком національних інноваційних систем / І.П. Макаренко / Інститут еволюційної економіки. – К.: Інтертехнологія, 2009. – 320 с.
5. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды / Н.Д. Кондратьев; Международный фонд Н.Д. Кондратьева и др.; Ред. колл.: Абалкин Л.И. (пред.) и др.; сост. Яковец Ю.В. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2002. – 768 с.
6. Kuznets A. Secular Movements in Production and Prices. – Boston, 1930.
7. Корольков М. Дело Кондратьева / М. Корольков // Знание-сила. – 1991 – № 3. – С. 39.
8. Кузьменко В.П. Циклический механизм эволюции социально-политических и эколого-экономических систем и ее прогнозирование / В.П. Кузьменко. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iee.org.ua/ru/publication/302/>
9. Рязанов В.Т. Экономическое развитие России. Реформы и российское хозяйство в XIX-XX вв. / В.Т. Рязанов. – СПб.: Наука, 1998. – 796 с.
10. Business booms and depressions since 1775. An accurate charting of the past and present trend of price inflation, federal dept, business, national income, stocks and bond yields (with a special study of postwar periods). Tension Envelope Corp. The Century Press. Toledo, Ohio, USA. 1952.
11. The Kondratieff Wave, June 1789 through September 2002. Prepared for The Long Wave Analyst. Topline Investment Graphics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.topline-charts.com
12. Carlota Perez (2002). *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Edward Elgar, Cheltenham, UK. 198 p.
13. Carlota Perez (2009). Technological revolutions and techno-economic paradigms: in Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics, Working Paper No. 20, Tallin: Norway and Tallinn University of Technology, Tallinn. 26 p.
14. Seba, Tony (2014). *Clean Disruption of Energy and Transportation: How Silicon Valley Will Make Oil, Nuclear, Natural Gas, Coal, Electric Utilities and Conventional Cars Obsolete by 2030*. Clean Planet Ventures, Silicon Valley, California. USA. – 1st ed. p. cm. June 15, 2014. 291 p.
15. Куницына Н.Н. Виды циклов в экономической динамике. Сборник научных трудов. Серия "Экономика", вып. 5 / Н.Н. Куницына // Северо-Кавказский государственный технический университет. Ставрополь, 2002. 129 с.
16. Сценарно-поетапна модель валютно-фінансових криз: системи індикаторів: Монографія / І.П. Макаренко, В.С. Найдюнов, О.Г. Рогожин, Я.В. Петраков. – К.: ПП «НВЦ «Профі», 2014. – 184 с.

17. World Economic Outlook Database October 2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2017/02/weodata/WEEOct2017all.xls>
18. 3_Topic_MetaData_en_EXCEL.xls [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bergfiles.com/i/bf3e61c83ch32i0>.
19. OESD.Stat [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stats.oecd.org/>
20. Дементьев В.Е. Длинные волны экономического развития и финансовые пузыри / В.Е. Дементьев / Препринт # WP/2009/252 – М.: ЦЭМИ РАН, 2009. – 88 с.
21. Hobbijn B, Jovanovic B. The Information Technology Revolution and the Stock Market: Evidence // NBER Working Paper № 7684. May 2000.
22. Андрукович П.Ф. Долгосрочная и среднесрочная динамика индекса Доу-Джонса // Проблемы прогнозирования. 2005. № 2, С. 46–62. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/dolgosrochnaya-i-srednesrochnaya-dinamika-indeksa-dou-dzhonsa>

Стаття надійшла до редакції 07.06.2018.

УДК 519.6

О.А. СТЕНІН, І.Г. ДРОЗДОВИЧ, К.І. ЛИЩУК

АНАЛІЗ І МІНІМІЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ В ЕКОЛОГІЧНИХ ЗОНАХ ІНДУСТРІАЛЬНИХ РЕГІОНІВ

***Анотація.** У даній статті для мінімізації викидів підприємств в екологічних зонах індустріальних регіонів запропонований метод суперпозиції для рішення приватних задач шляхом зведення основного завдання до завдання лінійного програмування. Кількість обмежень може бути змінено відповідно до пріоритетів соціальних і економічних потреб конкретного індустріального регіону.*

***Ключові слова:** промислові викиди, рівняння Нав'є – Стокса, екологічна зона, інтенсивність забруднення, розрахунковий функціонал, лінійне програмування.*

Вступ

Однією з проблем, що мають глобальний характер, є зростання вмісту в атмосфері вуглекислого газу в результаті техногенних викидів. Найбільш небезпечним наслідком цього явища може стати підвищення температури повітря завдяки «парниковому ефекту». Проблема порушення глобального циклу масообміну вуглецю вже переходить зі сфери екології в економічні, соціальні і, врешті-решт, політичні сфери.

Збільшення викидів шкідливих хімічних речовин діючими промисловими підприємствами, що забруднюють навколишнє середовище, призводить до порушення екологічної рівноваги, що дуже помітно у зв'язку зі зміною клімату планети. Через це розробляються і втілюються в життя численні міжнародні програми, протоколи, договори, угоди. Прикладом цього є Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, прийнята в Нью-Йорку 9 травня 1992 року. Потім був розроблений і прийнятий до виконання багатьма державами, в тому числі і Україною, Кіотський протокол до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату.

До забруднень регіонального масштабу відносяться багато відходів промислових підприємств і транспорту. В першу чергу, це стосується діоксиду сірки. Він викликає утворення кислотних дощів, що вражають організми рослин і тварин і викликають захворювання населення. У великих містах і промислових центрах повітря, поряд з оксидами вуглецю і сірки, часто забруднене оксидами азоту і твердими частинками, що викидаються автомобільними двигунами і димарями. Нерідко спостерігається утворення смогу. Хоча ці забруднення носять локальний характер, вони зачіпають багатьох людей, що скупчено мешкають на таких територіях. Крім того, завдається збиток навколишній природі.

Основними заходами боротьби із забрудненням атмосфери є: строгий контроль викидів шкідливих речовин, заміна токсичних продуктів на нетоксичні, перехід на замкнуті цикли, вдосконалення методів газоочистки і пиловловлювання та ін. Вирішенню даної проблеми присвячено цілий ряд робіт, серед яких найбільш близькі до розглянутої в статті задачі [1-5]. Для мінімізації промислових викидів вже діючих індустріальних підприємств з

урахуванням мінімальної дози забруднення екологічно значущих зон в заданому індустріальному регіоні авторами в даній статті пропонується в якості основного критерію розглядати економічні витрати на перебудову технологій розглянутих промислових підприємств з таким розрахунком, щоб загальні економічні витрати при заданому зниженні забруднень були мінімальними для підприємств всього регіону.

1. Постановка задачі

Нехай в заданому індустріальному регіоні G з кордоном L розташовані n промислових підприємств $A_i (i = \overline{1, n})$ з координатами $r_i(x_i, y_i, z_i)$, що викидають щомиті Q_i аерозолів, склад яких для простоти будемо вважати однаковим (рис. 1). Будемо вважати також, що регіон G являє собою циліндричну область з бічною поверхнею S_L , поверхнею підстави $S_0(z = 0)$ і верхньою поверхнею $S_H(z = H)$.

У цьому регіоні виділимо m екологічних зон $G_k (k = \overline{1, m})$ із заданою гранично допустимою концентрацією викидів за час $[0, T]$ аерозолів, де T – річна періодичність.

Завдання полягає у визначенні для кожного підприємства такої допустимої кількості викидних аерозолів, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при заданому зменшенні промислових викидів.

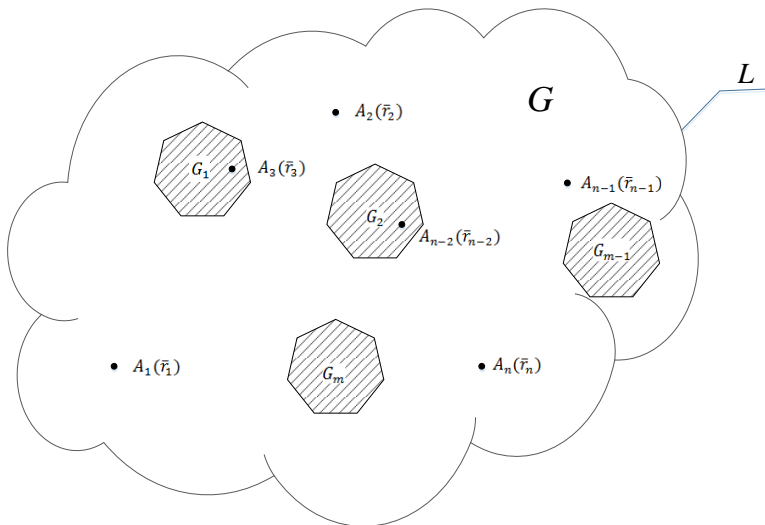


Рисунок 1 – Карта розташування підприємств і екологічних зон в індустріальному регіоні

2. Розв’язання задачі

Відомо [1, 2], що математична модель переносу і дифузії аерозолів в атмосфері описується рівнянням Нав’є – Стокса виду:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + v_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + v_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \mu \Delta \varphi + \sum_{k=1}^m Q_k \delta(\bar{r} - \bar{r}_k), \quad (1)$$

де: $\varphi(x, y, z)$ – інтенсивність субстанції аерозолі, мігруючої разом з потоком повітря в атмосфері; $\bar{v} = (v_x, v_y, v_z)$ – вектор швидкості уздовж осей x, y, z ; v, μ – коефіцієнти вертикального і горизонтального турбулентного обміну; $\bar{r}_k = (x_k, y_k, z_k)$ – місце розташування k -го промислового підприємства; σ – коефіцієнт поглинання (обернено пропорційний часу).

Рівняння (1) відповідає поставленому завданню за умови

$$\begin{cases} \varphi = f_L n a S_L \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \alpha \varphi n a S_o, \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 n a S_H \end{cases}, \quad (2)$$

де: α – коефіцієнт, що характеризує ймовірність випавшої на поверхню Землі субстанції аерозолі знову потрапити в атмосферу; f_L – ступінь початкового забруднення на бічній поверхні циліндричної моделі промислового регіону.

Вважаємо завдання кліматично періодичної функції φ з періодом T , рівним року, тобто

$$\varphi(\bar{r}, T) = \varphi(\bar{r}, 0). \quad (3)$$

До рівнянь (1)–(3) необхідно додати для кожного моменту часу співвідношення нерозривності для компоненту вектора швидкості \bar{V}

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

$$V_z = 0 \text{ при } z = 0 \text{ і } z = H.$$

Розрахункова формула річної дози забруднення для k -ї екологічної зони має вигляд:

$$F_k = \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \varphi dG, \quad (5)$$

де:

$$P_k = \begin{cases} 1, \text{ при } \bar{r} \in G_k, \\ 0, \text{ при } \bar{r} \notin G_k \end{cases}, \quad (6)$$

і враховує забруднення k -ї екологічної зони.

При цьому середньорічні гранично допустимі дози аерозольного забруднення повинні задовольняти обмеженням

$$F_k \leq C_k, (k = \overline{1m}), \quad (7)$$

де C_k – задані санітарні норми для k -ї екологічної зони.

Для того щоб до розрахункового функціоналу (5) визначити дози забруднення, з метою виконання обмежень (7) введемо в розгляд функціонал, що дозволяє знайти таку сукупність запланованих викидів аерозолів Q_i , яка при зменшенні викидів забезпечує випуск того ж обсягу продукції з мінімізацією витрат на технологічну реконструкцію.

В якості такого функціоналу приймемо

$$I = \sum_{i=1}^n k_i(Q_{ui} - Q_{ni}) \rightarrow \min, \quad (8)$$

де: Q_{ui} – вихідна потужність викидів; Q_{ni} – запланована потужність викидів; k_i – коефіцієнт, що визначає капіталовкладення в технологію, що забезпечує випуск того ж обсягу продукції при зменшенні викидів (в розрахунку на одиницю потужності викидів).

Рішення завдання (1)–(8) є досить складним в аналітичному вигляді, тому нижче для його вирішення пропонується метод суперпозиції для рішення приватних задач шляхом зведення основного завдання до завдання лінійного програмування.

Нехай для даного промислового регіону, з урахуванням зовнішнього забруднення, інтенсивність забруднення регіону G можна представити у вигляді:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i(\bar{r}, t), \quad (9)$$

де $\varphi_i(\bar{r}, t)$ – рішення рівняння (1) для i -го промислового підприємства, тобто

$$\frac{\partial \varphi_i}{\partial t} + V_1 \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} + V_2 \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} + V_3 \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + \sigma \varphi = \frac{\partial}{\partial z} g \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + \mu \Delta \varphi_i + \delta(\bar{r} - \bar{r}_1) Q_i \quad (10)$$

при граничних умовах

$$\begin{cases} \varphi_i = 0 \text{ на } aS_L \\ \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} = \alpha \varphi_i \text{ на } aS_0; \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} = 0 \text{ на } aS_H \end{cases} \quad (11)$$

Тоді розв'язок (9) правомірно використовувати в розрахунковому функціоналі (5). Звідси

$$F_k = \sum_{i=1}^n Q_{ni} a_{ik}, \quad (12)$$

де

$$a_{ik} = \int_0^T dt \int_{Gk} P_k \varphi_i(\bar{r}, t) dG, i = \overline{1, n}, k = \overline{1, m}. \quad (13)$$

У цьому випадку можемо вважати, що коефіцієнти a_{ik} – вже відома константа.

Об'єднуючи (7), (8), (12), (13), доходимо до наступної постановки задачі

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i (Q_{ui} - Q_{ni}) &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n Q_{ni} a_{ik} &\leq C_k, k = \overline{1, m}. \end{aligned} \quad (14)$$

Від Q_{ni} зручно перейти до $q_i = Q_{ni} - Q_{ui}$. Тоді ми приходимо до задачі лінійного програмування з відшукування оптимального набору q_i на основі рішення задачі

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i q_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i &\leq R_k, k = \overline{1, m} \\ q_i &\geq 0, i = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (15)$$

де

$$R_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} q_{ni} - C_k. \quad (16)$$

Природно, що кількість обмежень може бути за рахунок вимог соціального та економічного характеру, що впливають з тих чи інших пріоритетних міркувань [3, 4].

Якщо до цього промислового регіону примикають інші промислові регіони, з яких шкідливі викиди потрапляють в даний регіон, до рівняння (10) необхідно додати рівняння

$$\frac{\partial \varphi_L}{\partial t} + V_x \frac{\partial \varphi_L}{\partial x} + V_y \frac{\partial \varphi_L}{\partial y} + V_z \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} + \sigma \varphi_L = \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} + \mu \Delta \varphi_L \quad (17)$$

при умовах

$$\begin{aligned} \varphi_L &= f_H a S_L \\ \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} &= \alpha \varphi_i n a S_0 \cdot \\ \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} &= 0 n a S_H \end{aligned} \quad (18)$$

Тоді рішення (9) можливо записати як

$$\varphi = \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i(\bar{r}, t) + b_k, \quad (19)$$

де

$$b_k = \int_0^T dt \int_{G^k} P_k \varphi_s(\bar{r}, t) dG. \quad (20)$$

В цьому випадку задача лінійного програмування (15) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i q_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i &\leq R_k, k = \overline{1, m} \\ q_i &\geq 0, i = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (21)$$

де

$$R_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} q_{ni} - C_k. \quad (22)$$

Представлені вище окреме і загальне завдання лінійного програмування з оптимізації шкідливих викидів промислових підприємств в екологічних зонах даного індустріального регіону можуть бути вирішені відомими чисельними методами [6].

Висновки

Оскільки розглянуті завдання лінійні і періодичні в часі, то їх рішення здійснюється з деяких початкових даних до настання періодичності. Звичайно потрібно кілька річних циклів розрахунку. У даній статті для оптимізації викидів підприємств в екологічних зонах промислового регіону запропонований метод суперпозиції для рішення приватних задач шляхом зведення основного завдання до завдання лінійного програмування. Оскільки сформульована задача зведена до завдань лінійного програмування, при $q_i \geq 0$ і всіх позитивних коефіцієнтах a_{ik} , b_k рішення задачі знаходиться на гранях багатогранників, що утворюються при побудові областей обмежень за допомогою стандартних методів лінійного програмування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды. / Пер. с англ. под ред. Н.Н. Моисеева – М.: Мир.1979. – 216 с.
2. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды – М.: Наука. 1982. – 320 с.
3. В.М. Гарин, И.А. Кленова, В.И. Колесников, Промышленная экология, Маршрут, 2005. – 328 с.
4. Охрана окружающей среды от негативного воздействия хозяйственной деятельности / под ред. Д.В. Елисева – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2015. – 260 с.

5. Швыряев А.Л., Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе – М.: Изд-во МГУ. 2004. – 124 с.
6. Фельдман Л.П., Петренко А.І., Дмитрієва О.А. Чисельні методи в інформатиці. К.: Видавнича група ВНУ, 2006. – 480 с.

Стаття надійшла до редакції 22.05.2018.

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.942 ; 626/627 ; 504.05

Д.В. СТЕФАНИШИН, Ю.С. ВЛАСЮК

ДО ПИТАННЯ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ ВОДНОЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛИХ І ВЕЛИКИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ УКРАЇНИ У СКЛАДІ ГІДРОВУЗЛІВ З ВОДОСХОВИЩАМИ

***Анотація.** Наведено результати порівняльного аналізу водноенергетичних характеристик малих і великих гідроелектростанцій України, розміщених у складі гідровузлів з водосховищами. В якості розрахункових характеристик при аналізі розглядалися: встановлена потужність гідроелектростанцій та виробіток електроенергії на них, площа водосховищ і розрахунковий напір, та різні співвідношення між ними. Серед об'єктів представлено десять великих і сорок малих гідроелектростанцій. Проаналізовано залежності абсолютних і питомих значень площ водосховищ та розрахункових напорів від встановленої потужності і очікуваного виробітку електроенергії на гідроелектростанціях в контексті їх можливого впливу на довкілля.*

***Ключові слова:** водноенергетичні характеристики, водосховища, великі і малі гідроелектростанції, довкілля, порівняльний аналіз.*

Вступ

В останні роки, завдяки «зеленому» тарифу, мала гідроенергетика в Україні демонструє достатньо стабільне нарощування встановленої потужності і кількості малих гідроелектростанцій (МГЕС) (табл. 1). Значної питомої ваги в загальному енергобалансі країни (лише близько 0,15%) вона при цьому не набула і реально не може впливати на умови енергозабезпечення навіть в окремих регіонах [1-3]. Однак, своїм стихійним та необґрунтованим розвитком, який не супроводжувався належними науковими та технічними дослідженнями стану гідроенергетичної галузі як в цілому [4, 5], так і аналізом впливу МГЕС на довкілля зокрема [6, 7], мала гідроенергетика призвела до ряду соціально-екологічних проблем, без вирішення яких під питанням не лише її майбутнє, а й майбутнє великої гідроенергетики в країні. Остання ж, на відміну від малої, наразі відіграє надзвичайно важливу роль практично єдиного аварійного резерву у вітчизняній об'єднаній енергосистемі [8, 9].

Таблиця 1 – Динаміка введення МГЕС в Україні в 2009-2017 рр. [1, 2]

Показник	Роки								
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Встановлена потужність МГЕС, МВт	49,2	62,6	70,8	73,5	75,3	79	82,2	85,5	94,6
Кількість МГЕС	46	60	72	80	90	98	111	123	136

1. Загальний огляд проблеми

Як відомо, терміном «малі гідроелектростанції» (МГЕС) у світі прийнято називати гідроенергетичні установки малої потужності (до 5-30 МВт) [9, 10]. В Україні до МГЕС відносять гідроелектростанції (ГЕС) потужністю до 10 МВт. Серед них гідроустановки зі встановленою потужністю до 0,2 МВт прийнято виділяти в категорію мікро ГЕС, до 1 МВт – міні ГЕС, від 1 до 10 МВт – власне малих ГЕС. Саме через малу потужність гідроустановок в професійному середовищі гідроенергетиків існує думка [3, 9, 11-15], що МГЕС суттєво не можуть впливати на довкілля і є екологічно і соціально безпечними, в порівнянні з великими ГЕС. Єдиним недоліком МГЕС вважають лише значно більші капіталовкладення в одиницю встановленої потужності [6] (рис. 1), що, до речі, може негативно впливати на інвестиційну привабливість подібних гідроенергетичних проектів в умовах нашої країни за відсутності «зеленого» тарифу. Серед інших переваг МГЕС перед великими ГЕС виділяють також таке: порівняно невеликий об'єм загальних інвестицій і більш короткий термін будівництва станцій, можливість використовувати гідроенергетичний потенціал численних малих річок та приток, близькість до індивідуального споживача, можливість забезпечення електропостачання віддалених від загальних електромереж поселень тощо [3, 9-15].

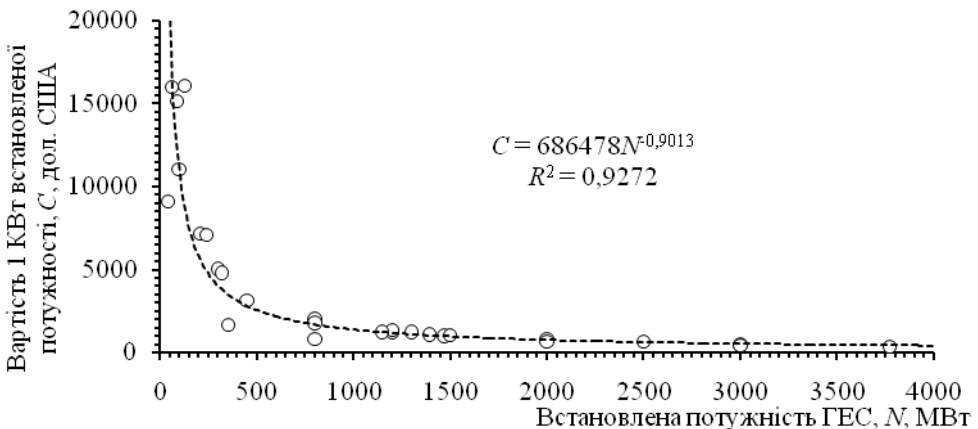


Рисунок 1 – Залежність вартості 1 кВт встановленої потужності на ГЕС від загальної їх встановленої потужності N , МВт (за даними [16])

Втім, незважаючи на привабливість гідроенергетики, в багатьох країнах світу, особливо тих, що сповідують сталий розвиток і екологічні пріоритети, подальший розвиток гідроенергетики, як великої, так і малої, починаючи з кінця минулого століття, почав обмежуватися [17-19]. Посилилась увага до соціально-екологічних проблем, які гідроенергетика, так чи інакше, спричинює [20]. Симптоматично, що ці обмеження було запроваджено в країнах, де все ще існує значний, порівняно з вітчизняним, резерв придатного для використання гідроенергетичного потенціалу. Серед них, наприклад, Австрія, Норвегія, Швеція (табл. 2). Слід зазначити, що навіть в цих країнах, де гідроенергетика традиційно відігравала і продовжує відігравати значну роль в загальному енергобалансі, і де і раніше існували строгі соціально-екологічні стандарти в гідроенергетичній галузі, наразі пріоритети в електроенергетиці надаються насамперед енергозберігаючим технологіям та іншим галузям альтернативної відновлювальної енергетики – вітрової і сонячній енергетиці, біоенергетиці, геотермальній енергетиці тощо [19].

Таблиця 2 – Порівняння стану та перспектив розвитку гідроенергетики Австрії, Норвегії, Швеції та України (за даними 2000 р. [16, 21])

Країна	Сумарний економічно ефективний гідроенергетичний потенціал, млрд кВт·годин	Рівень освоєння, %	Доля в енергобалансі, %
Австрія	53,7	69,8	62,0
Норвегія	179,6	64,8	99,4
Швеція	90,0	75,9	47,7
Україна	17,0-18,0	61,0-64,0	9,1

Так, за даними Міжнародної гідроенергетичної асоціації, встановлена потужність гідрогенерації в Норвегії (практично вся електроенергія в країні виробляється на ГЕС) з 2000 р. по 2014 р. зросла лише на 4,6% (з 27,4 ГВт до 28,72 ГВт). В якості ілюстрації «озеленення» гідроенергетики на рис. 2 виділено басейни норвезьких річок (388 річок / ділянок річок), де заборонено розвивати гідроенергетику. Їх сукупний гідропотенціал складає близько 50 млрд кВт·годин, що майже в 2,8 разу перевищує весь доступний гідропотенціал України, включно той, що вже використовується. Розглядається питання про заборону будь-якої господарської діяльності на цих річках. Подібна заборона для гідроенергетики діє і в Швеції – з метою збереження в незайманому стані річок, на яких ще не велось гідроенергетичне будівництво. Як наслідок, сумарна потужність гідрогенерації в Швеції з 2000 р. по 2014 р. зросла менше ніж на 1% (з 16,2 ГВт до 16,32 ГВт) – головним чином за рахунок реконструкції і модернізації вже існуючих ГЕС.

В останній час і в Україні з'явилась численна кількість публікацій (зокрема і за нашим авторством [4-7]) з критичними зауваженнями щодо негативних наслідків будівництва та експлуатації ГЕС, в тому числі і МГЕС, для екології річок, довкілля, життєдіяльності місцевого населення. Поряд з фіксацією проблем малої гідроенергетики [22], аргументацією необхідності детального аналізу ризиків [23] будівництва і експлуатації «сучасних» МГЕС [24], в цих роботах вказується і на свідоме перекручування проектантими і забудовниками фактів негативних впливів та нехтування ними чинними

нормами. В роботах зауважуються грубі підтасовки зі сторони інвесторів в оцінках впливу на довкілля, відмічаються недоліки екологічних експертиз тощо, підкреслюється «винятково прагматичний і безпринципний бізнес-інтерес» та корупційна складова у вітчизняній малій гідроенергетиці [25-29]. При цьому, якщо щодо впливу великих ГЕС на довкілля існує певна узгодженість думок екологів і інженерів-гідроенергетиків на рахунок того, що ці об'єкти дійсно впливають на довкілля і що цей вплив є суттєвим [20, 30], то стосовно МГЕС думки експертів кардинально розбігаються.



Рисунок 2 – Басейни норвезьких річок, де заборонено здійснювати гідроенергетичне будівництво (виділено зеленим кольором) [19]

Зокрема, в «Повідомленнях про плановану діяльність, яка підлягає оцінці впливу на довкілля» [31], що стосуються МГЕС, мають місце звичні, жодним чином не обґрунтовані фрази про «відсутність» впливу будівництва і експлуатації МГЕС на довкілля взагалі, «негативного» впливу зокрема, про «покращення», причому «значне», екологічної ситуації завдяки МГЕС. Серед негативних впливів на довкілля зазвичай згадується тільки можливість тимчасового забруднення території паливно-мастильними матеріалами при роботі будівельних механізмів та транспортних засобів тощо, тобто лише ті впливи на довкілля, які власне можуть бути приписані будь-якій діяльності.

2. Постановка задачі досліджень та дані для аналізу

Через переважно рівнинний характер, порівняно невеликі перепади висот та відносно малу водність річок, що протікають територією України, більшість вітчизняних ГЕС, які на них розміщені, як великі, так і малі, мають у своєму складі водосховища. Зазвичай цим водосховищам приписується комплексне призначення, часто вони мають різну відомчу приналежність та різних власників. Втім, одним з найбільш активних і впливових учасників водогосподарчого комплексу, що створився на них, є гідроенергетика.

Характерною особливістю більшості вітчизняних водосховищ є те, що вони мають не лише значні об'єми, а й значні площі водної акваторії. При цьому наявність водосховищ у складі ГЕС може вказувати на подібність основних впливів різних ГЕС на довкілля, незалежно від їх встановленої потужності. Зокрема, більша площа водосховища, за подібності всіх інших показників, може вказувати на більш розширений спектр і відносно більшу інтенсивність негативних впливів на навколишнє середовище, на більші втрати цінних земельних ресурсів внаслідок затоплення і підтоплення, на більші втрати води на фільтрацію, випаровування, льодостав тощо.

Відповідно, площа водосховища F , км², була вибрана нами одним з основних розрахункових параметрів для здійснення порівняльного аналізу водноенергетичних характеристик великих і малих ГЕС. Серед інших параметрів також розглядалися: встановлена потужність ГЕС, N , МВт; виробіток електроенергії, E , млн кВт·годин; напір, H , м. Кількісні дані для аналізу наведено в табл. 3 (для десяти великих ГЕС України) та табл. 4 (для МГЕС, серед яких всього було розглянуто сорок ГЕС з водосховищами).

Таблиця 3 – Розрахункові параметри великих ГЕС України
(F – площа водного дзеркала водосховища, НПР – нормальний підпірний рівень; N – встановлена потужність; E – виробіток електроенергії; H – розрахунковий напір)

№ з/п	ГЕС	Ріка	F при НПР, км ²	N , МВт	E , млн кВт·годин	H , м
1	Каховська	Дніпро	2155	351	1489	13,8
2	Кременчуцька	Дніпро	2250	625	1506	14,2
3	Київська	Дніпро	922	364	683	12,0
4	Дніпровська	Дніпро	410	1538	972	11,0
5	Канівська	Дніпро	675	444	1328	10,5
6	Середньодніпровська	Дніпро	567	352	4008	34,3
7	Дністровська ГЕС-1	Дністер	142	702	865	40,0
8	Дністровська ГЕС-2	Дністер	6,1	40,8	105	11,4
9	Теребле-Рікська	Теребля, Ріка	1,6	27	123	200,0
10	Олександрівська*	Південний Буг	12	11,5	22	10,0

* Не враховано зниження встановленої потужності ГЕС до 9,8 МВт з метою отримання права на «зелений» тариф [32]

Таблиця 4 – Розрахункові параметри МГЕС України, що мають у своєму складі водосховища (F – площа водного дзеркала водосховища, НПР – нормальний підпірний рівень; N – встановлена потужність; E – виробіток електроенергії; H – розрахунковий напір)

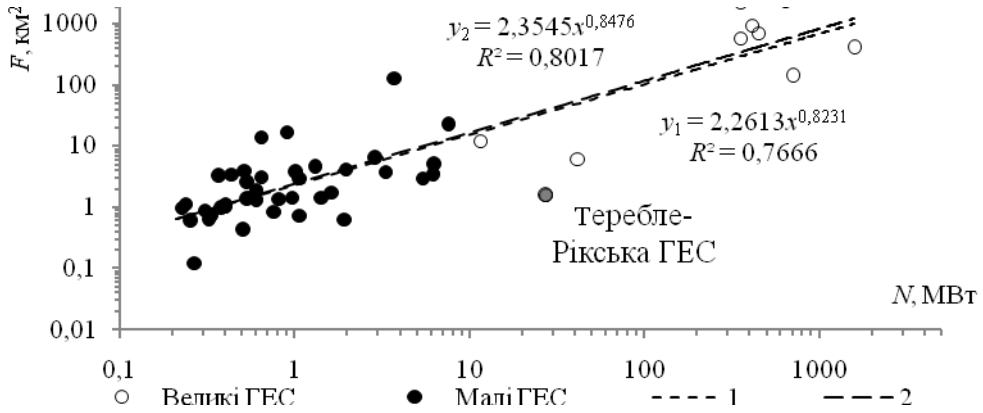
№ з/п	ГЕС	Ріка	F при НПР, км ²	N , МВт	E , млн кВт·годин	H , м
1	2	3	4	5	6	7
1	Червонооскільська	Оскіл	122	3,68	12,5	11,0
2	Ладжинська	Південний Буг	22,3	7,5	32,8	16,5
3	Щедрівська	Південний Буг	13,3	0,64	1,6	4,5

Продовження таблиці 4

1	2	3	4	5	6	7
4	Хрінницька	Стир	16,3	0,9	3,44	4,9
5	Касперівська	Серет	2,86	5,37	17,4	14,8
6	Стеблівська	Рось	6,38	2,85	12,7	13,3
7	Новоархангельська	Синюха	4,57	1,3	5,55	8,3
8	Тернівська	Синюха	4	1,95	7,4	8,3
9	Гайворонська	Південний Буг	4,96	6,18	23,7	8,15
10	Дмитренківська	Соб	3,85	0,51	2,3	9,0
11	Глибочанська	Південний Буг	3,38	6,13	25,0	12,3
12	Сабарівська	Південний Буг	2,9	1,05	2,8	4,58
13	Мислятинська	Горинь	3,02	0,64	3,3	6,2
14	Мартинківська	Збруч	1,84	0,6	1,2	8,0
15	Корсунь-Шевченківська	Рось	1,7	1,6	5,8	9,8
16	Юрпільська	Гірський Тікич	1,39	0,55	1,2	7,0
17	Брацлавська	Південний Буг	1,1	0,4	1,8	3,0
18	Ніверківська	Збруч	1,32	0,8	3,2	7,07
19	Новокостянтинівська	Південний Буг	2,54	0,525	1,6	5,5
20	Шишацька	Псел	1,36	0,525	2,2	3,57
21	Кунцівська	Ворскла	1,01	0,4	1,8	4,0
22	Коржівська	Случ	0,63	0,32	1,4	7,6
23	Пендиківська	Случ	0,43	0,5	2,0	3,65
24	Сутиська	Південний Буг	3,77	1	2,8	4,8
25	Чернятська	Південний Буг	1,4	1,4	8,5	5,45
26	Скалопільська	Мурафа	0,86	0,304	2,4	12,0
27	Слобода-Бушанська	Мурафа	0,12	0,264	0,78	4,1
28	Любарська	Случ	0,6	0,25	0,8	3,6
29	Ужгородська	Уж	0,62	1,9	4,5	7,5
30	Богуславська	Рось	0,7	1,05	5,15	9,1
31	Дибенська	Рось	3,27	0,43	2,17	4,2
32	Червонохутірська	Синюха	3,63	3,3	9,0	12,0
33	Сухорабівська	Псел	0,73	0,328	1,3	2,9
34	Опішнянська	Ворскла	0,95	0,225	0,9	3,2
35	Остапівська	Псел	0,96	0,375	0,9	2,2
36	Млинівська	Іква	3,24	0,362	2,5	3,8
37	Низівська	Псел	0,81	0,75	2,0	4,1
38	Скородинська	Серет	1,4	0,96	4,8	6,5
39	Боднарівська	Збруч	1,3	0,6	3,1	6,85
40	Седнівська	Снов	1,1	0,235	0,94	2,2

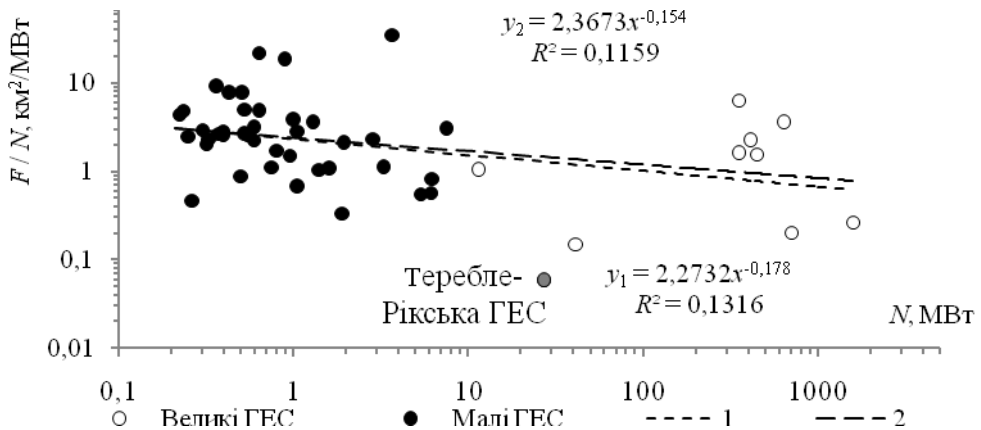
3. Отримані результати досліджень та їх аналіз

Результати виконаних нами досліджень наведено нижче на рис. 3-10.



Модельні регресії: 1 – з Теребле-Рікською ГЕС; 2 – без Теребле-Рікської ГЕС

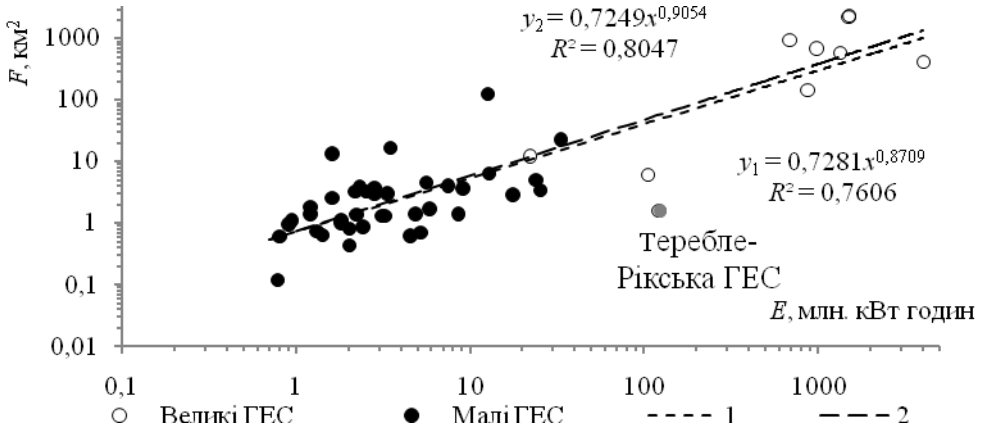
Рисунок 3 – Залежність площі F , км², водосховищ гідровузлів від встановленої потужності N , МВт, ГЕС (за даними табл. 3, 4)



Модельні регресії: 1 – з Теребле-Рікською ГЕС; 2 – без Теребле-Рікської ГЕС

Рисунок 4 – Залежність відношення F / N , км²/МВт, F – площа водосховища, від встановленої потужності N , МВт, ГЕС (за даними табл. 3, 4)

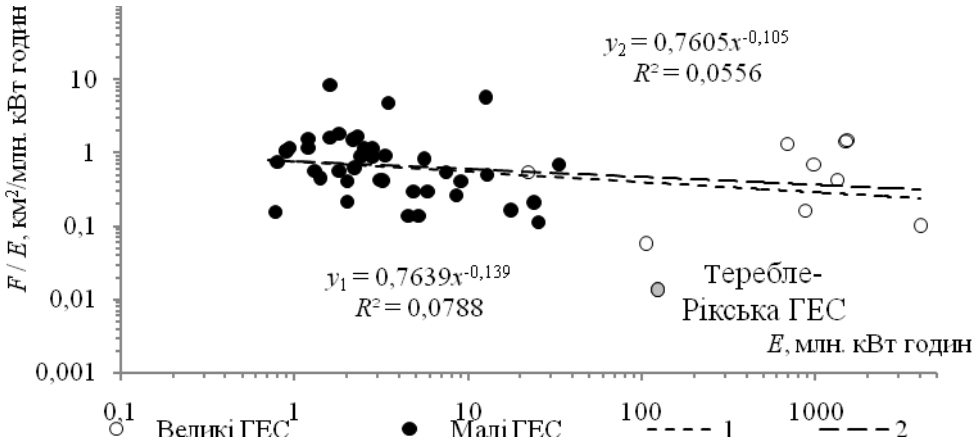
З рис. 3, 5 видно, що існує досить тісний регресійний зв'язок (при додатній кореляції) між встановленою потужністю (рис. 3) і виробітком електроенергії (рис. 5) на вітчизняних ГЕС (як на малих, так і на великих) і площею водосховищ при них, яка збільшується зі збільшенням потужності і виробітку електроенергії.



Модельні регресії: 1 – з Теребле-Рікською ГЕС; 2 – без Теребле-Рікської ГЕС

Рисунок 5 – Залежність площі F , km^2 , водосховищ гідровузлів від виробітку електроенергії E , млн кВт-годин, на ГЕС (за даними табл. 3, 4)

Особливої відмінності в характері цього зв'язку для великих і малих ГЕС немає. Однак, регресійний зв'язок між встановленою потужністю і відношенням площі водосховища до встановленої потужності (рис. 4), виробітком електроенергії і відношенням площі водосховища до виробітку електроенергії (рис. 6) не тільки значно слабший, але і має інший характер (від'ємна кореляція).



Модельні регресії: 1 – з Теребле-Рікською ГЕС; 2 – без Теребле-Рікської ГЕС

Рисунок 6 – Залежність відношення F/E , $\text{km}^2/\text{млн кВт-годин}$, F – площа водосховища, від виробітку електроенергії E , млн кВт-годин, на ГЕС (за даними табл. 3, 4)

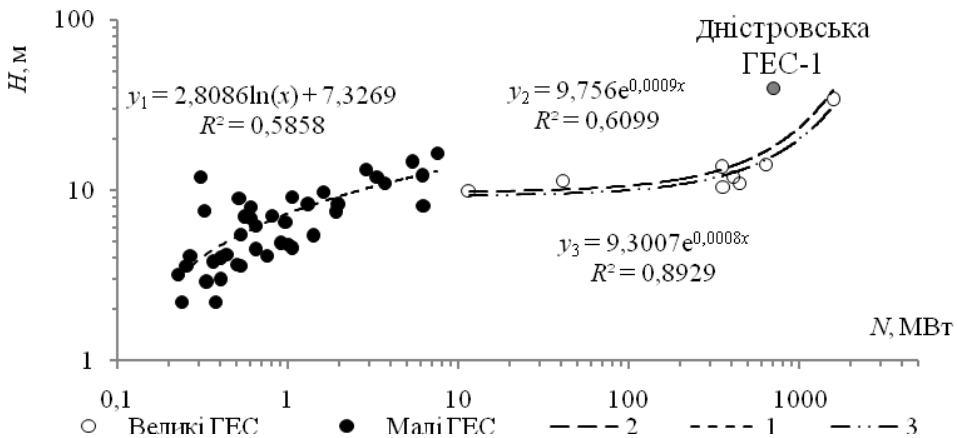
Слід відмітити, що на одиницю встановленої потужності або на одиницю виробітку електроенергії питома площа водосховищ великих ГЕС дещо

зменшується, в порівнянні з оцінками для МГЕС. Тобто водосховища при МГЕС можуть спричиняти відносно більший питомий вплив на довкілля на одиницю встановленої потужності станцій і одиницю виробленої ними електроенергії, ніж водосховища великих ГЕС.

Порівняльний аналіз результатів, які наведено на рис. 3-6, показує, що серед вітчизняних ГЕС з водосховищами у складі гідровузлів виділяється Терембле-Рікська ГЕС. Вона, на відміну від більшості ГЕС з водосховищами, побудованими на рівнинних річках, розміщується в гірському районі Закарпаття. Відповідні водноенергетичні характеристики Терембле-Рікської ГЕС в порівнянні з іншими вітчизняними ГЕС, як з малими, так і великими, що мають водосховища, виявилися найкращими. Для України – це справді унікальна ГЕС серед гідроелектростанцій, експлуатація яких пов'язується з водосховищами, якій немає аналогів в Україні не лише за абсолютною величиною (200 м) розрахункового напору, а і за способом його організації (напір на греблі + напір на деривації, з перекидом води з одного річкового басейну в інший). Втім, якщо врахувати те, що заповнення Вільшанського водосховища при будівництві Терембле-Рікської ГЕС потребувало ліквідації трьох сіл, то затоплення територій при спорудженні нових ГЕС у складі гідровузлів з водосховищами слід визнати одним з визначальних факторів при порівнянні проектів нових ГЕС з іншими енергетичними проектами.

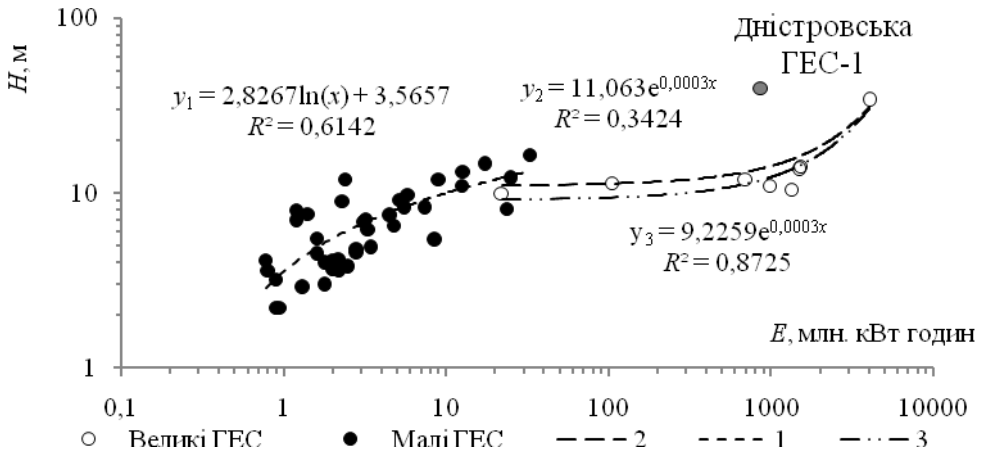
Як відомо, потужність ГЕС визначається витратою води і напором. Забезпечити більшу потужність і виробіток електроенергії на ГЕС можна або завдяки збільшенню витрат через агрегати, або підвищуючи напір. Вибір рішення може мати значення з точки зору впливу ГЕС на довкілля.

На рис. 7, 8 наведено залежності між розрахунковим напором і встановленою потужністю (рис. 7) та очікуваним виробітком електроенергії (рис. 8) на вітчизняних ГЕС – окремо для малих і великих. З розгляду було виключено Терембле-Рікську ГЕС, на якій напір створюється переважно за рахунок деривації і наразі є практично постійною величиною внаслідок суттєвого замулення Вільшанського водосховища.



Модельні регресії: 1 – для МГЕС; 2 – для великих ГЕС; 3 – для великих ГЕС без Дністровської ГЕС-1

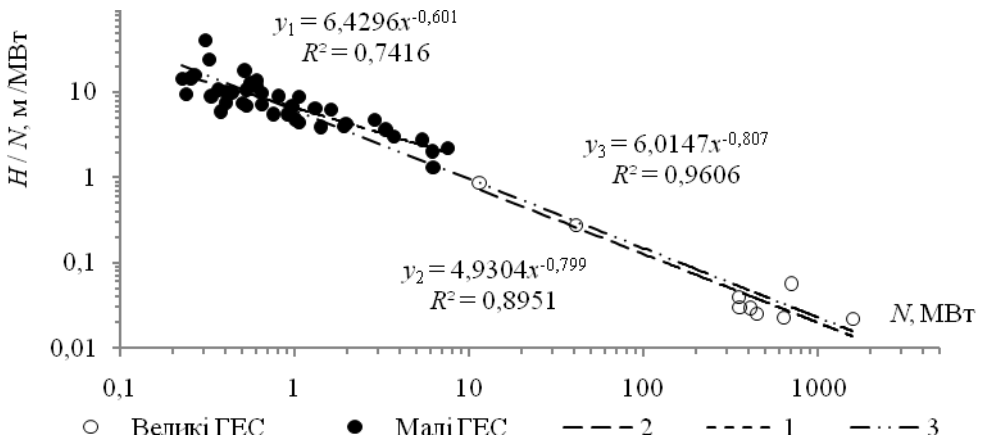
Рисунок 7 – Залежність розрахункового напору H , м, на ГЕС від її встановленої потужності N , МВт (за даними табл. 3, 4)



Модельні регресії: 1 – для МГЕС; 2 – для великих ГЕС; 3 – для великих ГЕС без Дністровської ГЕС-1

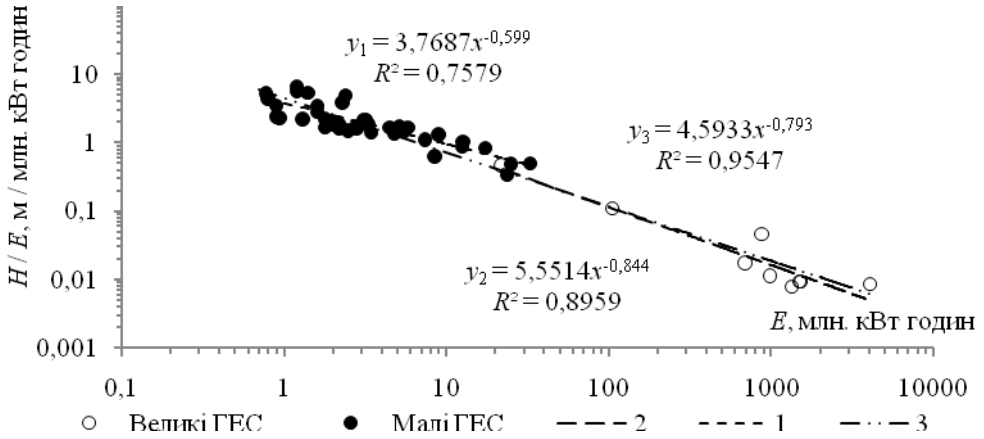
Рисунок 8 – Залежність розрахункового напору H , м, на ГЕС від виробітку електроенергії E , млн кВт·годин (за даними табл. 3, 4)

Слід відмітити відмінності в характері регресійних залежностей між розрахунковим напором та встановленою потужністю (рис. 7), напором і виробітком електроенергії (рис. 8) для малих і великих вітчизняних ГЕС з водосховищами. Для досягнення більших значень потужності і виробітку електроенергії на МГЕС напір має більшу вагу, ніж для великих ГЕС. На це вказують і значення розрахункового напору на одиницю встановленої потужності (рис. 9) та на одиницю виробітку електроенергії (рис. 10).



Модельні регресії: 1 – для МГЕС; 2 – для великих ГЕС; 3 – для всіх ГЕС

Рисунок 9 – Залежність величини H / N , м/МВт, H – розрахунковий напір, м, на ГЕС від її встановленої потужності N , МВт (за даними табл. 3, 4)



Моделні регресії: 1 – для МГЕС; 2 – для великих ГЕС; 3 – для всіх ГЕС

Рисунок 10 – Залежність величини H / E , м/млн кВт·годин,
 H – розрахунковий напір, м, на ГЕС від виробітку електроенергії
 E , млн кВт·годин (за даними табл. 3, 4)

В цілому можна стверджувати, що із забезпеченням проектних значень розрахункових напорів на МГЕС з водосховищами, що розміщуються на рівнинних ріках країни, особливо в періоди маловоддя, власне і можуть пов'язуватися основні соціально-екологічні проблеми. Одна з них – це забезпечення мінімального екологічного стоку в нижніх б'єсах МГЕС. В цьому відношенні великі вітчизняні ГЕС для вирішення екологічних проблем в нижніх б'єсах мають значно більші можливості, ніж малі. Справа лише за тим, що ці можливості мають використовуватися.

Висновки

Виконано порівняльний аналіз водноенергетичних характеристик малих і великих ГЕС України у складі гідровузлів, що мають водосховища. В якості розрахункових характеристик при аналізі було використано дані щодо встановленої потужності, виробітку електроенергії, площ водосховищ і розрахункових напорів десяти великих і сорока малих вітчизняних ГЕС. Проаналізовано залежності абсолютних і питомих значень площ водосховищ та розрахункових напорів від встановленої потужності і очікуваного виробітку електроенергії в контексті можливого негативного впливу ГЕС різної потужності на довкілля.

Як великі, так і малі ГЕС, що розміщуються у складі гідровузлів з водосховищами, мають неоднозначний, зокрема і негативний, вплив на довкілля. Показано, що в силу природно-географічних умов для більшості вітчизняних МГЕС з водосховищами відносні впливи на довкілля, відносні втрати і шкода тощо на одиницю встановленої потужності і одиницю виробітку електроенергії можуть бути не меншими, а навіть суттєво більшими, ніж від великих ГЕС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроелектроенергетики України. Аналітична доповідь. За ред. О. М. Суходолі. Київ : Національний інститут стратегічних досліджень при Президентові України. 2014 р. 54 с. URL: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/GES-993ae.pdf>.
2. Гідроенергетика. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <http://saee.gov.ua/ae/hydroenergy>.
3. Васько П. Ф., Васько В. П., Ібрагімова М. Р. Мала гідроенергетика в структурі електроенергетичної галузі України. *Відновлювана енергетика*. 2015. № 3. С. 53-61.
4. Стефанишин Д. В. Про перспективи розвитку вітчизняної гідроенергетики в контексті планів будівництва каскаду гідроелектростанцій у Дністровському каньйоні. *Екологічна безпека та природокористування*. Зб. наук. праць. Вип. 23 (№ 1-2). Київ : ІТГІП НАНУ, КНУБА. 2017. С. 5-19.
5. Stefanyshyn D. On peculiarities of hydropower development in the world and in Ukraine. *Екологічна безпека та природокористування*. Зб. наук. праць. Вип. 25 (№ 1). Київ : КНУБА, ІТГІП НАНУ. 2018. С. 12-23.
6. Стефанишин Д. В. Соціально-екологічні проблеми відновлення та модернізації малих гідроелектростанцій в Україні. *Гідроенергетика України*. № 1-2. 2015. С. 18-22.
7. Власюк Ю. С., Стефанишин Д. В. Про проблеми та перспективи малої гідроенергетики в Україні. *Математичне моделювання в економіці*. № 1 (10). 2018. С. 126-138.
8. Шидловський А. К., Поташник С. І., Федоренко Г. М. Надійні гідроелектростанції – гарант технологічної безпеки та ефективної експлуатації АЕС та ТЕС. *Гідроенергетика України*. № 1. 2005. С. 8-11.
9. Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики / за ред. В.М. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал. 2013. 399 с. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/part-2/section-2/2-8>.
10. Мала гідроенергетика світу. URL: <https://msd.in.ua/mala-gidroenergetika-svitu/>.
11. Васько П. Ф. Сучасний стан та перспективи розвитку малої гідроенергетики України : Національний інститут стратегічних досліджень при Президентові України. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1583/>.
12. Ландау Ю. А. Основные тенденции развития гидроэнергетики Украины. *Техногенна безпека*. Наукові праці. 2012. Том 53. Вип. 40. С. 82-86.
13. Васько П. Ф., Мороз А. В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. *Відновлювана енергетика*. 2016. № 3. С. 50-56.
14. Ландау Ю. О., Сташук І. В. Перспективи створення Верхньодністровського каскаду ГЕС. *Гідроенергетика України*. 2016. № 1-2. С. 2-6.
15. Шкробот М. В. Сучасний стан та перспективи розвитку гідроелектроенергетики України. *Бізнес-навігатор*. №1 (27). 2012. С. 66-70.
16. Стефанишин Д. В. Про перспективи гідроенергетики в Україні та вибір варіанту розвитку Дніпровського каскаду з врахуванням ризику. *Гідроенергетика України*. №3. 2010. С. 5-11.
17. Шульга И. Мировые тенденции развития гидроэнергетики. *ЭнергоРынок*, 2004. URL: <http://www.e-m.ru/er/2004-09/22584/>.
18. Головні тенденції розвитку української та світової енергетики. URL: <http://www.bakertilly.ua/en/news/id1145>.
19. Hydropower Case Studies and Good Practice Examples. “Guiding Principles in Sustainable Hydropower Development in the Danube Basin”. Published by: ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River. 35 p. URL: <http://docplayer.net/15409764-Hydropower-case-studies-and-good-practice-examples.html>.

20. Векслер А. Б., Ивашинцов Д. А., Стефанишин Д. В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2002. 591 с.
21. Bartle A. Hydropower potential and development activities. *Energy Policy*. Vol. 30. Issue 14. 2002. P.P. 1231-1239.
22. Поп С. С. Гідроенергетичний потенціал Закарпаття: стан та перспективи його раціонального використання. Науковий вісник Ужгородського ун-ту. Серія: Географія. Землеустрій. Природокористування. Ужгород : Говерла. Вип. 2. 2013. С. 98-111.
23. Левковська Л., Мандзик В. Ідентифікація екологічних ризиків об'єктів малої гідроенергетики. *Економіст*. № 12. 2016. С. 8-12.
24. Сухарева О. Ю., Рябухіна Т. С. та ін. Вплив греблі малої ГЕС на стан річки Шипот. *Наук. Вісник Ужгородського ун-ту (Сер. хімія)*. №2(34). 2015. С. 51-54.
25. Станкевич-Волосянчук О.І., Лукша О. В. Стоп масовому будівництву міні ГЕС у верхів'ї річок Карпат (хроніки та аналіз адвокаційної кампанії у Закарпатті). Ужгород : Поліграфцентр «Ліра». 2013. 84 с.
26. Павелко А., Проць Б., Станкевич-Волосянчук О. Гідроенергетика у Карпатах: міфи та реальність. ГО «Дунайсько-Карпатська Програма» Всесвітнього фонду природи WWF. Львів : 2015. 40 с.
27. Станкевич О. Півроку експлуатації Тур'я-Полянської міні-ГЕС показали її «екологічність» та «європейськість». URL: http://miniges.bei.org.ua /2013/06/blog-post_19.html.
28. Станкевич-Волосянчук О., Лукша О. Лобісти ГЕС на гірських річках Закарпаття підтасовують факти! Закарпатські «експерти» і близько не розбираються у проблемах будівництва станцій на ріках області, а тільки лобіюють інтереси своїх замовників. URL: <http://chas-z.com.ua/news/5709>.
29. Стефанишин Д. В. Про негативні наслідки будівництва малої гідроелектростанції на р. Случ біля с. Губків. Перспективи розвитку сільського та екологічного туризму в Україні. Збірник тез I Міжнародної наук.-практ. конф. Березне, 20-21 травня 2016 р.; «Рівненський центр маркетингових досліджень». Рівне: Видавець Олег Зень. 2016. С. 145-147.
30. Гидроэнергетика и окружающая среда / Под общ. ред. Ю. Ландау и Л. А. Сиренко. Киев: Либра, 2004. 484 с.
31. Оцінка впливу на довкілля. Єдиний реєстр. URL: <http://eia.menr.gov.ua/search>.
32. Фахівці ЮУАЕС взяли участь у відкритих обговореннях з питань застосування «зеленого» тарифу для Олександрівської ГЕС і інвестпрограм Енергоатома. URL: <https://www.sunpp.mk.ua/uk/article/5434-fahivci-yuuaes-vzyaly-uchast-u-vidkrytyh-obgovorenyah-z-pytan-zastosuvannya-zelenogo>.

Стаття надійшла до редакції 26.04.2018.

УДК 628.3

С.І. АЗАРОВ, В.Л. СИДОРЕНКО, О.С. ЗАДУНАЙ

ПРОБЛЕМИ АНАЛІЗУ РИЗИКУ ПРОЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОГО ЗБИТКУ В МЕЖАХ СЕЛЬБИЩНОЇ ТЕРИТОРІЇ

***Анотація.** Розглянуто методичні основи аналізу небезпеки, ризику й економічних збитків як базису раціонального природокористування. Показано, що з екологічної точки зору ризик небезпеки є багатофакторною функцією ймовірностей та економічних збитків у різних видах господарської діяльності. Встановлено можливість управління зазначеними факторами з метою мінімізації негативних наслідків.*

***Ключові слова:** оцінка, небезпека, ризик, економічний збиток, техногенно небезпечні території.*

Вступ

Сталий розвиток суспільства забезпечується єдністю трьох сфер: економічної, соціальної та екологічної. Розвиток науки свідчить про провідну роль екологічної стійкості у формуванні сучасного і майбутнього стану суспільства. В умовах інтенсивного антропогенного і техногенного впливу відбувається різке зростання забруднення урбоєкосистем в цілому. Україна несе значні людські втрати, пов'язані зі згубним впливом стихійних лих, крупних промислових аварій, техногенним забрудненням навколишнього середовища. Проблема аналізу небезпеки і оцінки ризику у методичних відношеннях є однією з найважливіших в теорії і практиці природокористування. Потреба у її вирішенні з'явилася зі зростанням виробничої промислової діяльності, що вплинуло на підвищення антропогенного навантаження на сельбищні території (промислово-міські агломерації, міста і населені пункти). Наслідками цього стало збільшення екологічної небезпеки, рівня смертності населення і подекуди незворотні зміни природних екосистем, спричинені надзвичайними ситуаціями, аваріями і катастрофами. Наразі забруднення навколишнього середовища внаслідок роботи промислових підприємств характеризується екологічними, соціальними і, передусім, економічними збитками, що завдаються не тільки окремому підприємству, але й сельбищним територіям та національному добробуту в цілому. Таким чином, виникає необхідність в розробці нових підходів до зниження або цілковитого усунення небезпеки для навколишнього середовища та населення. Через це у країнах з розвинутою промисловістю сформувалась нова галузь знань – аналіз небезпек, оцінки ризиків, економічних збитків та управління ними.

© С.І. Азаров, В.Л. Сидоренко, О.С. Задунай, 2018

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

У доробку видатних вчених з'явилося багато праць [1–3], в яких розглядаються різноманітні аспекти дослідження небезпек, ризиків і збитків, а також різні підходи до їх вивчення (часто інтерпретація зазначених понять дається з погляду певної науки і тому носить однобічний і вузький характер, що є неприпустимим).

2. Формулювання цілей статті

Метою роботи є обґрунтування понять безпеки, ризику і економічного збитку в процесі їх формування і розвитку, встановлення загальних закономірностей і процесів, що впливають на їх виникнення, оцінку і управління ними на основі узагальнення науково-методичних напрацювань, практичного досвіду та системного дослідження.

3. Виклад основного матеріалу

Зростання сельбищних територій веде до значного забруднення зовнішнього середовища промисловими викидами, вихлопними газами автомобілів, стічними водами, твердими відходами тощо. Навколо джерел забруднення утворюється локальна зона підвищених (порівняно з природним фоном) концентрацій забруднюючих речовин. Сельбищну територію можна розглядати як складну інженерно і соціально-екологічну систему (ІСЕС), де багато невизначеностей. Вони часто є причиною проявлення різних за своєю природою і проявом небезпек, що порушують нормальну життєдіяльність людини і безаварійну експлуатацію будівель та інженерних споруд. Прогнозні оцінки ризику проявлення небезпечних процесів в межах сельбищної території мають велике значення для управління ризиком збиткових проявів даних небезпек, а накопичення інформації (ведення моніторингу) при безпечному стані і факторах його прояву дозволяє реципієнту знизити ризик і економічні збитки. Алгоритм оцінки ризику антропогенного впливу на навколишнє середовище і об'єкти сельбищної території складається з двох основних частин: уразливості і значущості ІСЕС.

Значимість оцінки ризику проявлення небезпечних процесів при різних забудованих сельбищних територіях може бути економічною, соціальною, рекреаційною, екологічною тощо. Мета управління ризиками безпеки для ІСЕС полягає в забезпеченні безпеки соціально-економічних, територіальних, ландшафтних, геолого-технічних і екологічних систем. У даний час немає однозначного розуміння термінів «безпека», «ризик» і «економічний збиток». Багато дослідників вважають ці поняття синонімами, а їх показники оцінюються приблизно на якісному або експертному рівні. Небезпеку слід розрізняти за часом її прояву і за площею (об'єктивну, реальну). Небезпека – це ситуація, в якій можливе виникнення явищ або процесів, здатних уражати людей, завдавати матеріальних збитків, діяти руйнівно на навколишнє середовище. Небезпека – це, по-перше, можливість (або здатність) нанесення шкоди будь-якому об'єкту захисту і, по-друге, це властивість навколишнього середовища. Небезпеки носять потенційний, тобто прихований характер. Кожну небезпеку може характеризувати багато різних рівнів потенційної

небезпеки, що оцінюють різні сторони і параметри цієї небезпеки. Під небезпечним розуміється таке явище (аварія, катастрофа, природне явище), що призводить до формування негативних (шкідливих і уражаючих) факторів для населення, об'єктів техносфери і навколишнього природного середовища.

Безпека – це стан захищеності об'єкта захисту від будь-яких видів небезпек. З іншого боку, безпека – стан захищеності життєво важливих інтересів особистості, суспільства і держави від внутрішніх і зовнішніх загроз. Таким чином, безпека – стан захищеності будь-якого об'єкта від будь-яких небезпек. Звідси випливає, що «абсолютної» безпеки (відсутність будь-якої небезпеки) якоїсь системи (об'єкта захисту) домогтися в реальному світі неможливо в принципі. Керуючи рівнем потенційної небезпеки, можна зменшити ступінь небезпеки даного об'єкта захисту, а значить підвищити, збільшити ступінь його безпеки до максимально можливого в сучасних умовах рівня. Тільки в цьому сенсі можна трактувати «стан захищеності» об'єкта захисту від загрозливих йому небезпек. В даний час реалізується так званий гнучкий підхід до забезпечення безпеки, коли не регламентуються жорстко всі необхідні захисні заходи для певного класу об'єктів, а формулюються критерії безпеки і в найзагальнішому вигляді шляхи досягнення цих критеріїв.

Якщо мірою небезпеки є ризик, то заходом безпеки може служити величина допустимого ризику. Рівень безпеки життєдіяльності людини визначається величиною загального ризику, що представляє сукупність економічного, екологічного, геологічного та соціального ризиків. Дамо коротке визначення кожному із зазначених ризиків.

Економічний ризик – це ймовірність прояву небезпеки, що викликає аварійні, непередбачені проектами, руйнування будівельних об'єктів. Під екологічним ризиком розуміється ймовірність несприятливих для навколишнього середовища наслідків будь-яких змін природних об'єктів і факторів.

Геологічний ризик – це ймовірність прояву і активізації природних і природно-техногенних геологічних процесів в певному місці і в певний час, що викликають збиткові зміни об'єктів і зон їх впливу. Критерієм оцінки геологічного ризику в межах виділених інженерно-геологічних типів міської території є стійкість її компонентів (рельєфу, порід, процесів, геофізичних полів, гідросфери) до техногенних навантажень. Ця оцінка здійснюється на основі аналізу метеорологічних умов, геологічної будови, структурно-тектонічних гідрогеологічних, гідрологічних і геоморфологічних умов, небезпечних геологічних процесів з урахуванням їх площадного поширення і типу техногенних навантажень.

Соціальний ризик – це ймовірність аварійних руйнувань різних будівельних об'єктів і ураження певних груп людей, що знаходяться в зоні впливу об'єктів в момент розвитку і прояви зазначених процесів і явищ. Іншими словами, це кількісна міра небезпеки збиткових змін будівельних умов в межах кожного інженерно-геологічного типу території і погіршення здоров'я людей. Соціальний ризик при наявності небезпечних природних і техногенних процесів позначає ймовірність летальних чи інших небажаних результатів серед населення, тобто, коли виникають соціальні збитки. Прогнозування небезпек (надзвичайних ситуацій) має велике значення для управління ризиком, а накопичення інформації (ведення моніторингу) про

небезпеки і фактори їх розвитку (активізації) дозволяє реципієнту знизити ризик.

Необхідно розрізняти небезпеки, що проявляються швидко (зсуви, карстові і суфозійні провали, просадки в лесових ґрунтах, землетруси тощо) і уповільнено (підтоплення територій, деформації незгасаючої повзучості глинистих ґрунтів та ін.). Щорічний ризик від окремих процесів можна визначити як добуток їх повторюваності на можливі збитки; сумарний щорічний ризик – простим додаванням приватних ризиків за окремими таксономічними одиницями, показаними на карті. Ризики часто розглядають у двох аспектах – потенційному і реальному. Потенційний ризик – це явище небезпеки порушення стосунків живих організмів з навколишнім середовищем внаслідок дії природних чи антропогенних чинників. Реальний ризик утворюється потенційним з урахуванням імовірної частоти його реалізації.

Оцінка ризику – це аналіз причин його виникнення і масштабів прояву в конкретній ситуації. Система оцінки ризику має на меті встановлення об'єктивної картини ризику на певній території (включаючи класифікацію факторів небезпеки і можливі наслідки їх дії), кількісних оцінок ризику та збитків стосовно здоров'я населення і навколишнього природного середовища. Ця система складається з етапів (рис. 1), які необхідно пройти в процесі оцінки ризиків проявлення небезпечних процесів.



Рисунок 1 – Послідовність оцінки ризиків проявлення небезпечних процесів

Під управлінням ризиком розуміється комплекс взаємопов'язаних організаційних, технічних, інформаційних, правових, нормативно-методичних та інших заходів, спрямованих на зведення до мінімуму соціальних, економічних, екологічних втрат суспільства від проявів небезпек, що забезпечують досягнення прийняттого рівня ризику, оцінку ефективності цих заходів для зворотного зв'язку. Досягнення такої мети можливо лише при організації систем моніторингу за природними і техногенними небезпеками.

При цьому бажано дотримання принципів обґрунтування, оптимізації, вибірковості, достатності і виправданого ризику. При управлінні ризиком слід керуватися положенням: «управлінські рішення сьогодні повинні враховувати можливі несприятливі ситуації (що усуваються і що не усуваються) завтра з урахуванням виникнення можливих подальших напрямків (векторів) їх розвитку». Принципу обґрунтування рішення на реалізацію ризику прояву небезпек слід дотримуватися при виконанні умови [4]:

$$P Q_0(\Delta t) + C < P Q_0(\Delta t) \quad (1)$$

або

$$\Delta W[P, \Delta t] - C > 0, \quad (2)$$

де P – реалізація ризику прояву небезпеки; $Q_0(\Delta t)$ – величина економічного збитку; C – економічні витрати на здійснення заходів з інженерного захисту; Δt – інтервал часу від негативного процесу, що розглядається.

Тут $\Delta W[P, \Delta t] = P Q_0(\Delta t) - P^* Q_0(\Delta t)$ – математичне очікування економічної шкоди від ризику, відверненого своєчасно вжитими заходами інженерного захисту.

При відомих величинах економічної шкоди прийняття рішень з мінімізації витрат запишеться у вигляді:

$$Q_0(\Delta t) > Q_0 d(\Delta t). \quad (3)$$

Тут

$$Q_0 d(\Delta t) = \frac{C}{\Delta P} - \left(\frac{P}{\Delta P} = 1 \right) \Delta Q_0, \quad (4)$$

де $Q_0 d(\Delta t)$ – критеріальне значення для правила прийняття рішення (мінімально допустима ймовірність небезпеки). У цьому випадку реалізація ризику прояву небезпеки і величина економічного збитку в залежності від ризику дорівнюватимуть:

$$\Delta P = P - P^*, \quad (5)$$

$$\Delta Q_0 = Q_0(\Delta t) - Q_0^*(\Delta t). \quad (6)$$

Принцип оптимізації буде визначатися за умови максимуму відношення запобіжного економічного збитку до витрат на здійснення заходів інженерного захисту з виразу [4]:

$$V^* = \arg \max : \Delta W[P, \Delta t, V] / C(V), \quad (7)$$

Тут

$$\Delta W[P, \Delta t, V] = \Delta P Q_0(\Delta t) - P^*(V) Q_0(\Delta t, V). \quad (8)$$

Принцип вибірковості має на увазі вибір серед існуючих стандартних заходів інженерного захисту тих, що забезпечать максимальне зниження ризику прояву збиткових процесів при однакових затратах. Тобто, необхідно дотримуватися умови:

$$\Delta W[P, \Delta t] / \Delta C \rightarrow \min. \quad (9)$$

Принцип достатності означає, що комплекс заходів інженерного захисту повинен забезпечити рівень безпеки населення, що задовольняє умови:

$$Q_n(\Delta t) \leq [Q_n(\Delta t)]M, \quad (10)$$

де $[Q_n(\Delta t)]M$ – прийнятний рівень ризику (індивідуальної ймовірності смерті людини за інтервал часу Δt від розглянутого збиткового процесу).

Принцип виправданості ризику дотримується в тих випадках, коли освоєння територій обіцяє значну вигоду, але ризиковано для населення, оскільки ризик прояву збиткових процесів перевищує прийнятну величину. В цьому випадку користь для суспільства в цілому перевищує ймовірний економічний збиток. За додаткові фактори ризику категоріям ризикуючих громадян державними органами влади повинні передбачатися соціально-економічні компенсації.

При виборі методів прогнозних оцінок ризику прояву небезпечних процесів на території міста слід починати, керуючись такими основними положеннями:

- прогнозні оцінки складаються на всіх стадіях життєдіяльності людини в межах даної території, починаючи від задуму її використання, техніко-економічного обґрунтування інвестицій, розробки проектно-кошторисної документації, будівництва будівель і споруд, їх реконструкції і ліквідації. Цим дотримуються основні принципи загальної теорії прогностики – перманентності і верифікованості. Головне, вчасно отримати відомості про інженерно-технічний та екологічний стан міської території і небезпечні прояви антропогенних процесів, що спричинять не тільки економічні втрати, але і викличуть соціальні та екологічні лиха. Висновок з цього положення один – якщо за результатами прогнозних оцінок ймовірний прояв збиткового процесу, необхідно вжити запобіжних заходів захисту;

- результати прогнозних оцінок геолого-технічного і екологічного стану території міста поширюються тільки для такої території ІСЕС, що має строго певні просторово-часові межі і будову. В межах цих кордонів ІСЕС протягом всього її існування, особливо в новітній етап, мала однаковий режим розвитку. Тобто, це структурні блоки зі строго певним набором порід інженерно-геологічних формацій і геолого-генетичних комплексів з квазіоднородними геоморфологічними, гідрологічними, кліматичними умовами і суворо визначеним парагенетичним рядом небезпечних процесів;

- прогнозні оцінки складаються з урахуванням антропогенних навантажень в межах розглянутої ІСЕС і впливу на неї суміжних з нею геолого-технічних, екологічних і соціально-економічних систем. При прогнозах імовірних впливів техногенних процесів на господарські об'єкти, розташовані в межах кількох систем, як, наприклад, річкові береги,

зсувонебезпечні ділянки схилів, прогнозні оцінки складаються для кожної системи з урахуванням її функціонального використання та впливів на неї суміжних систем.

При прогнозних оцінках екологічного стану ІСЕС в даний час використовуються в основному детерміновані моделі. Поясненням такого масового застосування цих моделей є простота математичних формул і мінімум інформації, необхідної для здійснення прогнозних розрахунків. Основними причинами використання цих моделей є відсутність розрахункових схем, які б виходили з ймовірності прояву збиткових екологічних небезпек. Успішне подолання виникаючих труднощів можливо тільки при використанні різних моделей ймовірнісно-статистичного аналізу.

У випадках, коли відсутня необхідна кількісна інформація про фактори розвитку, прояву та активізації дій техногенних процесів, досить гарні результати можна отримати, використовуючи методи теорії розпізнавання образів. Якщо прогнозист володіє кількісно виразимими факторами розвитку і прояву небезпечного процесу, найбільш часто використовуються ймовірнісно-детерміновані та ймовірнісно-статистичні методи – дослідження загальних лінійних рівнянь, що добре відпрацьовані і математично обґрунтовані.

В якості чисельної величини ризику доцільно взяти безрозмірний показник R – це відношення величини небезпечних процесів, що відбулися в межах певних інженерно-геологічних типів територій, до загальної площі її ураженості цими процесами.

За характерною величиною показника R доцільно виділяти такі категорії ризику [5]:

1) ризик в межах тренда, коли його значення ненабагато перевищують одиницю: ($0 < R \leq 1,5$). При таких величинах зазвичай потрібне проведення превентивних заходів інженерного захисту;

2) ризик збитковий: ($1,5 < R < 5$). У цих випадках складаються комплексні проекти інженерного захисту, що базуються на результатах прогнозів проявів небезпечних процесів;

3) ризик катастрофічний: ($R > 5-10$, до 1000 і більше).

Значений ризик важко прогнозований. Тому для зменшення економічної шкоди найбільш ефективними є заходи з порятунку населення в надзвичайних ситуаціях і система страхування.

Ризики відповідальності від небезпечних процесів поєднують в собі ймовірність несприятливих подій і обсяг цих подій (втрати та збитки). Вони відображають міру небезпеки ситуацій, в яких є потенційні негативні чинники, здатні несприятливо впливати на природу, людину і суспільство (рис. 2).

Наслідком всіх надзвичайних ситуацій на території міста будуть економічні збитки. Вони можуть бути прямими і непрямими, оцінюватися екологічними і соціальними показниками.

Економічні збитки – це грошовий вираз негативних наслідків, викликаних руйнуваннями і виведенням з експлуатації промислових, соціально-побутових, сільськогосподарських об'єктів і підземних комунікацій. Екологічний збиток – це погіршення стану природного середовища та затрати на його відновлення, втрата господарської цінності території тощо.

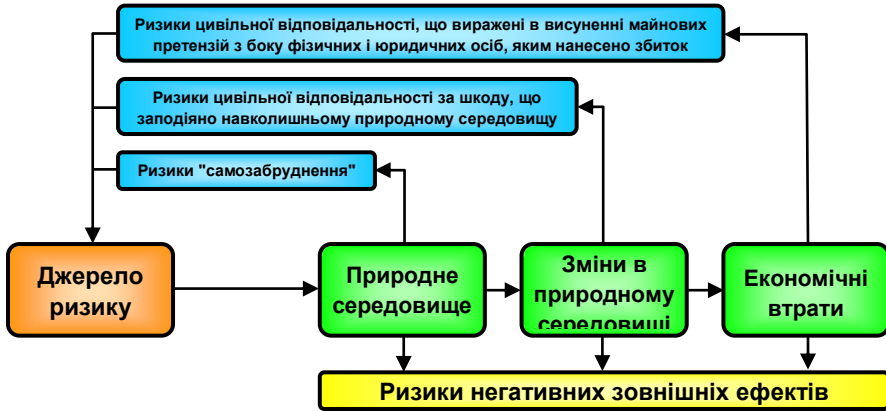


Рисунок 2 – Характеристика ризиків відповідальності від небезпечних процесів

Соціальний збиток – це втрата різних видів власності, затрати на переселення людей, виплату компенсації постраждалим, порушення процесу нормальної господарської діяльності, погіршення умов життєдіяльності людей. Алгоритм розрахунку економічної шкоди від небезпечних процесів в загальному вигляді може бути представлений у вигляді виразу [5]:

$$Z = K_1 K_2 K_3 K_4 S RIJ, \quad (11)$$

де Z – економічний збиток, що розраховується у вартісному вираженні для однотипних об'єктів (наприклад, для житла, будинку і т.д.);

K_1 – вартісний коефіцієнт (в гривневому чи іншому еквіваленті) питомої одиниці об'єкта (житлової площі, обсягу і т.п.);

K_2 – коефіцієнт імовірного виникнення екологічної небезпеки в результаті руйнування (або пошкодження) промислових або жилих будинків і споруд;

K_3 – коефіцієнт імовірного збільшення економічної шкоди за рахунок активізації техногенних небезпечних процесів;

K_4 – коефіцієнт амортизації інженерних споруд (відповідно зниження їх стійкості);

S – розміри власне об'єкта (житлова площа, обсяг, розрахункова місткість тощо);

RIJ – розрахунковий коефіцієнт, що відображає ймовірність (ризик) втрат при прояві небезпечних процесів i -ої інтенсивності на майданчиках з j -ою оцінкою ґрунтових умов.

Оцінки очікуваних соціально-екологічних збитків є складною науковою проблемою, тому їх розміри досить умовні за такими основними причинами:

- неможливість однозначно оцінити збитки від небезпечних процесів (якщо для процесів, що сталися, ці оцінки відповідають спостережуваним актуальним збиткам, то для прогнозованих процесів вони є прогнозними віртуальними);

- практично відсутні аналізи та оцінки непрямих збитків від небезпечних процесів, що проявилися й очікуються, а іноді і збитків від вторинних впливів;

- збиткам від багатьох процесів запобігають поетапно, тому кінцева оцінка втрат часто виявляється заниженою;

- на багатьох територіях не ведеться моніторинг не тільки за втратами, але і за розвитком і проявом процесів.

Висновки

1. Аналіз понять "безпека", "небезпека", "ризик", "збитки" виявив відсутність єдиного понятійно-категоріального підходу. В першу чергу це стосується використання понять стосовно суб'єкта і об'єкта дії.

2. Основними причинами виникнення небезпек, ризиків і збитків на сельбищній території є виробнича діяльність, що формує антропогенні або техногенні зміни природних об'єктів і чинників. Тому ризики мають розглядатися як ймовірність втрат для підприємства у зв'язку з нанесенням економіко-екологічних збитків навколишньому середовищу.

3. Теоретичні розробки окремих питань аналізу небезпек свідчать про суперечливість наукового погляду на теоретико-методичну базу екологічного аналізу ризику.

4. Аналіз небезпек потребує комплексного підходу, в результаті якого на основі врахування оцінки ризиків приймаються рішення з управління ризиком щодо мінімізації його ціни.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Rowe W.D. An anatomy of Risk. – Environmental Protection Agency, 1975. – 209 p.
2. Environmental health risk assessment – Guidelines for assessing human health risks from environmental hazards. – Environmental health risk management, 2012. – 244 p.
3. Application of risk estimation in different countries / [Clarkson R., Glaser S., Kierski M., Thomas T., Gaccetta J., Campbell C. and ect.]. – Netherlands : Kluwer Academic, 2001. – P. 3–9.
4. Benjamin S.L. Practical guidance on understanding, management and review of reports as evaluated by a risk in an environment / D.A. Belluck. – Boca Katon : CRC Press/Lewis, 2001. – 280 p.
5. Азаров С.І. Економічна оцінка відверненого екологічного ризику (соціального збитку) для населення, що проживає на техногенно небезпечних територіях / Азаров С.І., Сидоренко В.Л. // Екологічні науки. – 2013. – Вип. 3. – С. 69–73.

Стаття надійшла до редакції 17.05.2018.

РЕФЕРАТИ / ABSTRACTS

ДО 100-РІЧЧЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ FOR THE 100th ANNIVERSARY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

УДК 004, 005, 528.8

Современные диссертационные исследования Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства: информационные технологии / Трофимчук О.М., Миронцов М.Л. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №2. – С. 5–25.

Представлены основные теоретические и практические результаты, вошедшие в диссертационные исследования, которые были успешно защищены сотрудниками (или под их руководством) Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины. Материал представлен в виде аннотационного обобщения основных опубликованных работ в периодических международных и отечественных специализированных изданиях, монографиях, материалах научных конференций и авторских свидетельств.

UDC 004, 005, 528.8

Modern dissertation researches of the Institute of Telecommunications and Global Information Space: Information Technologies / Trofymchuk O.M., Myrontsov M.L. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – №2. – P. 5–25

The main theoretical and practical results, included in the dissertation research, were successfully defended by the employees (or under their direction) of the Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine. The material is presented in the form of an abstract generalization of the main published works in international and domestic periodic specialized publications, monographs, materials of scientific conferences and patents.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

УДК 004.8:519.85:656.7

Оптимизация путей в динамическом графе перелетов модифицированным алгоритмом муравьиных систем / Гуляницкий Л.Ф., Павленко А.И. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №2. – С. 26–39.

Рассмотрены задачи поиска оптимального маршрута авиалиниями с заданными пользовательскими условиями и целью минимизации затрат. Описаны общие подходы алгоритма муравьиных систем (АМС) и разработан алгоритм на основе

АМС для решения поставленной задачи. Приведены результаты вычислительного эксперимента и сравнение с результатами алгоритма меток.

UDC 004.8:519.85:656.7

Path Optimization in dynamic graph of air flights by ACS-based algorithm / Huliannytskyi L.F., Pavlenko A.I. // *Mathematical modeling in economy*. – 2018. – №2. – P. 26–39.

In this paper, we have considered the problem of optimal tourist trip route planning with given user restrictions and goal to minimize trip expenses. The paper describes general ant system (AS) algorithms and developed ACS-based algorithm for the discussed problem. We have presented performance results of developed ACS-based algorithm and compared it to the labeling algorithm.

УДК 004.7

Исследование эффективности детерминированных и псевдослучайных перемежителей турбокодов / Василенко В.М. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2018. – №2. – С. 40–49.

В работе рассматриваются различные виды перемежителей, их структура, параметры и влияние на свойства турбокодов в беспроводных системах передачи данных. Показаны результаты имитационного моделирования характеристик достоверности информации для канала с аддитивным белым гауссовским шумом с использованием детерминированных и псевдослучайных перемежителей в структуре кодеров и декодеров турбокодов. Предложен наиболее эффективный перемежитель для построения адаптивных систем передачи с кодированием.

UDC 004.7

Investigation of the effectiveness of deterministic and pseudo-random interleavers of turbo codes / Vasylenko V.M. // *Mathematical modeling in economics*. – 2018.– №2. – P. 40–49.

The paper considers various types of interleavers, their structure, parameters and the influence on the properties of turbo codes in wireless data transmission systems. The results of simulation of information reliability characteristics for a channel with additive white Gaussian noise are shown using deterministic and pseudo-random interleavers in the structure of encoders and decoders of turbo codes. The most effective interleaver for constructing adaptive transmission systems with encoding is proposed.

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

УДК 519.25; 330.33.01

Особенности долгосрочной экономической динамики в последние 50 лет / Рогожин А.Г. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2018. – №2. – С. 50–63.

Рассмотрены теоретико-методологические подходы к объяснению волнового характера долгосрочной динамики макроэкономических показателей эволюционными процессами развития технологической системы массового производства, сопровождаемых последовательной сменой ведущих технологических укладов (промышленных революций). Выполнено статистический анализ показателей прироста ВВП и валовых внутренних инвестиций в основных макрорегионах мира (США, Евразия, Япония) на интервале 1961(1971)-2017 гг. Его

результаты наилучшим образом интерпретируются на основе гипотезы про существование векового кондратьевского цикла, состоящего из двух Длинных волн Кондратьева. На рассматриваемый период (второе полу столетие) приходится формирование вспомогательного к автомобильно-нефтяному информационно-коммуникационного технологического уклада с нисходящей линейной тенденцией темпов прироста. В соответствии с результатами расчетов, Великая рецессия 2008-2010 гг. вероятно не является началом «великой депрессии» фазового перехода к новой Длинной волне и новому технологическому укладу, он еще не оформился окончательно в недрах предыдущего.

UDC 519.25; 330.33.01

Peculiarities of Long-Term Economic Dynamics for Last 50 Years / Rogozin O.G. // *Mathematical modeling in economy*. – 2018. – №2. – P. 50–63.

The theoretical and methodological approaches to explaining the cyclical character of macroeconomic indicators long-term dynamics by evolutionary processes of the technological system of mass production are considered. These processes are accompanied by successive industrial revolutions with a change in leading General purpose technologies. The statistical analysis of GDP and gross capital formation growth rates in the main macroregions of the world (USA, Eurozone, Japan) in the interval 1961(1971) - 2017 years is carried out. His results are best interpreted on the basis of the hypothesis of existence the century-long Kondratiev cycle consisting of two Long Kondratiev waves. In the considered period (the second half of the century) there is the formation of an auxiliary to “car and oil” the “information and communication” General purpose technologies with downward linear trend of growth rates. According to the calculations the Great recession (2008-2010) is not likely to be the beginning of "great depression" and transition to a new Long wave and new General purpose technologies. It has not yet taken shape under the cover of previous technological structure.

УДК 519.6

Анализ и минимизация промышленных выбросов в экологических зонах индустриальных регионов / Стенин А.А., Дроздович И.Г., Лищук Е.И. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2018. – №2. – С. 64–70.

В данной статье для минимизации выбросов предприятий в экологических зонах индустриальных регионов предложен метод суперпозиции для решения частных задач путем сведения основной задачи к задаче линейного программирования. Количество ограничений может быть изменено в соответствии с приоритетом социальных и экономических потребностей конкретного индустриального региона.

UDC 519.6

Analysis and minimization of industrial emissions in ecological zones of industrial regions / Stenin A.A., Drozdovych I.G., Lishchuk E.I. // *Mathematical modeling in economy*. – 2018. – №2. – P. 64–70.

In this article, to minimize emissions of enterprises in the ecological zones of industrial regions, a superposition method is proposed for solving particular problems by reducing the basic problem to the problem of linear programming. The number of restrictions can be changed in accordance with the priority of the social and economic needs of a particular industrial region.

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

УДК 004.942 ; 626/627 ; 504.05

К вопросу сравнительного анализа водно-энергетических характеристик малых и больших гидроэлектростанций Украины в составе гидроузлов с водохранилищами / Стефанишин Д.В., Власюк Ю.С. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №2. – С. 71–83.

Приведены результаты сравнительного анализа водно-энергетических характеристик малых и больших гидроэлектростанций Украины в составе гидроузлов с водохранилищами. В качестве расчетных характеристик при анализе рассматривались: установленная мощность гидроэлектростанций и количество выработанной на них электроэнергии, площадь водохранилищ и расчетный напор, и различные соотношения между ними. Среди объектов представлены десять больших и сорок малых гидроэлектростанций. Проанализированы зависимости абсолютных и удельных значений площадей водохранилищ и расчетных напоров от установленной мощности и ожидаемой выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях в контексте их возможного воздействия на окружающую среду.

UDC 004.942 ; 626/627 ; 504.05

To the issue of comparative analysis of water-energy characteristics of small and large hydroelectric power plants of Ukraine being parts of waterworks with reservoirs / Stefanyshyn D.V., Vlasiuk Yu.S. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – №2. – P. 71–83.

The results of the comparative analysis of water-energy characteristics of small and large hydroelectric power stations of Ukraine being parts in the structure of waterworks with reservoirs are presented. As determinative characteristics the installed capacity of hydroelectric power plants and the amount of electricity generation on them, the area of reservoirs and the design head, and the various ratios between them were considered too. Among the objects there were ten large and forty small hydropower power plants. Dependences of absolute and specific values of the areas of reservoirs and design heads on the installed capacity and the expected power generation at hydro power plants in the context of possible environmental impact were analyzed.

УДК 628.3

Проблемы анализа риска проявления опасных процессов и оценка экономического ущерба в границах селитебной территории / Азаров С.И., Сидоренко В.Л., Задунай А.С. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №2. – Р. 84–92.

Рассмотрены методические основы анализа опасности, риска и экономического ущерба как базиса рационального природопользования. Показано, что с экологической точки зрения риск опасности является многофакторной функцией вероятностей и экономических ущербов в различных видах хозяйственной деятельности. Установлена возможность управления указанными факторами с целью минимизации негативных последствий.

UDC 628.3

Problems of analysis of the risk of manifestation of dangerous processes and assessment of economic damage within the boundaries of the residential area / Azarov S.I., Sydorenko V.L., Zadunaj O.S. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – №2. – P. 84–92.

The methodical bases of the analysis of danger, risk and economic damage as a basis of rational nature management are considered. It is shown that, from an ecological point of view, the risk of danger is a multifactor function of probabilities and economic losses in various types of economic activity. The possibility of managing these factors is established to minimize the negative consequences.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Азаров Сергій Іванович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту ядерних досліджень НАН України (Україна, м. Київ).

Василенко Владислав Михайлович – аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Власюк Юрій Степанович – аспірант Національного університету водного господарства та природокористування (Україна, м. Рівне).

Гуляницький Леонід Федорович – доктор технічних наук, зав. відділу Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (Україна, м. Київ).

Дроздович Ірина Геннадіївна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Задунай Олексій Сергійович – начальник центру Державного НДІ спецв'язку та захисту інформації (Україна, м. Київ)

Лищук Катерина Ігорівна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна, м. Київ).

Миронцов Микита Леонідович – доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Павленко Анна Ігорівна – аспірант Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (Україна, м. Київ).

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

Сидоренко Володимир Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності населення Інституту державного управління у сфері цивільного захисту (Україна, м. Київ).

Стенін Олександр Африканович – доктор технічних наук, професор кафедри технічної кібернетики НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна, м. Київ).

Стефанишин Дмитро Володимирович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, професор кафедри гідротехнічних споруд Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (Україна, м. Рівне).

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія журналу.

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

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

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

Надруковано:

Видавничий дім «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36.
Тел.: (044) 360-22-66
Реєстраційне свідоцтво НБ № 153324 від 05.11.2012 р.

Підписано і здано до друку 25.07.2018. Формат 70X108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 12.7
Обл.-вид. арк. 9.8 Тираж 300 примірників Замовлення №

КИЇВ 2018