

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ПРОБЛЕМИ
ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

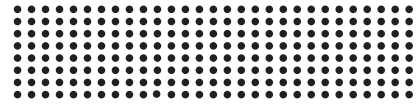
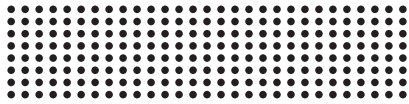
Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського національного технічного університету
(протокол № 5 від 28 січня 2020 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України
(Наказ Міністерства освіти і науки України № 820 від 11.07.2016 р.),
у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт
на здобуття наукових ступенів доктора та кандидата технічних наук

Журнал включено до наукометричних баз, електронних бібліотек та репозитаріїв:
Index Copernicus, Crossref, Google Scholar, Research Bible, Open Academic Journals Index (OAJI),
Directory of Open Access Journals (DOAJ), AcademicKeys, National Library of Ukraine (Vernadsky)

ISSN 1998-7005 (Print)
ISSN 2313-0687 (Online)

01(027) лютий 2020



**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
KHERSON NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY**

**JOURNAL
OF INFORMATION
TECHNOLOGY**

Recommended for publication by the Academic Council of
Kherson National Technical University
(Minutes № 5 on 28th January 2020)

The journal is included in the List of scientific professional publications of Ukraine
(Order № 820 of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 11 July 2016)
where the results of the theses of Doctor and Candidate of Engineering Science can be published

The journal is included in the scientometric bases, electronic libraries and repositories:
Index Copernicus, Crossref, Google Scholar, Research Bible, Open Academic Journals Index (OAJI),
Directory of Open Access Journals (DOAJ), AcademicKeys, National Library of Ukraine (Vernadsky)

ISSN 1998-7005 (Print)
ISSN 2313-0687 (Online)

01(027) February 2020



РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ



РЕДАКЦІЙНА РАДА

Головний редактор

ШЕРСТЮК Володимир Григорович
/доктор технічних наук, професор/

Заступники головного редактора

ЖАРІКОВА Марина Віталіївна
/доктор технічних наук, професор/
ЛЯШЕНКО Олена Миколаївна
/кандидат технічних наук, доцент/

Відповідальні секретарі

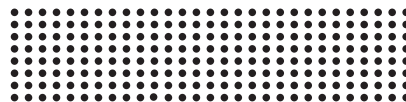
ОГНЕВА Оксана Євгенівна
/кандидат технічних наук, доцент/
КИБАЛКО Ігор Іванович
/кандидат технічних наук, доцент/

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Бардачов Юрій Миколайович засл. діяч науки і техніки України	д.т.н., професор	Херсонський національний технічний університет, Україна
Тулученко Галина Яківна	д.т.н., професор	Херсонський національний технічний університет, Україна
Гнатушенко Володимир Володимирович	д.т.н., професор	Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Україна
Гожий Олександр Петрович	д.т.н., професор	Чорноморський державний університет ім. П. Могили, Україна
Каргін Анатолій Олексійович	д.т.н., професор	Український державний університет залізничного транспорту, Україна
Шекета Василь Іванович	д.т.н., професор	Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна
Осипенко Володимир Васильович	д.т.н., професор	Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
Konrad Gromaszek	Associate Professor	Lublin University of Technology
Smailova Saule	Associate Professor	D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Kazakhstan



EDITORIAL BOARD



EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

SHERSTYUK Volodymyr Hryhorovych
/Doctor of Engineering Science, Professor/

Deputies Editor-in-Chief

ZHARIKOVA Maryna Vitaliivna
/Doctor of Engineering Science, Professor/
LIASHENKO Olena Mykolaivna
/Ph.D., Associate Professor/

Executive Secretary

OHNIEVA Oksana Ievhenivna
/Ph.D., Associate Professor/
KYBALKO Ihor Ivanovych
/Ph.D., Associate Professor/

MEMBERS OF EDITORIAL BOARD

Bardachov Yurii Mykolaiovych Merited Figure of Science and Technology of Ukraine	Doctor of Engineering Science, Professor	Kherson National Technical University, Ukraine
Tuluchenko Halyna Yakivna	Doctor of Engineering Science, Professor	Kherson National Technical University, Ukraine
Hnatushenko Volodymyr Volodymyrovych	Doctor of Engineering Science, Professor	Dnipro University of Technology, Ukraine
Hozhyi Oleksandr Petrovych	Doctor of Engineering Science, Professor	Petro Mohyla Black Sea National University, Ukraine
Karhin Anatolii Oleksiiovych	Doctor of Engineering Science, Professor	Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine
Sheketa Vasyl Ivanovych	Doctor of Engineering Science, Professor	Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine
Osypenko Volodymyr Vasylovych	Doctor of Engineering Science, Professor	Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
Konrad Gromaszek	Associate Professor	Lublin University of Technology
Smailova Saule	Associate Professor	D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Kazakhstan



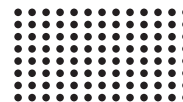
ЗМІСТ

Шерстюк В., Сокол І., Гусев В., Левківський Р. ДИНАМІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЙ РУХУ БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТІВ В ПРОЦЕСІ ВИКОНАННЯ СКЛАДНИХ ОПЕРАЦІЙ	7
Фісун М., Дворецький М., Дворецька С., Давиденко Є. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ БАЗИ ДАНИХ ВУЗЛА У КОРПОРАТИВНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	23
Stenin A., Pasko V., Gubskiy A., Drozdovych I. MODELING AND CALCULATION OF PERFORMANCE INDICATORS OF COMPUTER INFORMATION SYSTEMS.	36
Захарченко Р., Захарченко Л., Кірюшатова Т., Штуца О. ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ НАВЧАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ	44
Захарченко Р., Захарченко Л., Кірюшатова Т., Кибалко І. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ У СХОВИЩАХ ДАНИХ	54
Сокол К., Огнева О. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПАСИВНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЗАКРИТОГО ТИПУ.	69
Полібіна К. ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНКИ КВАЛІФІКАЦІЇ ПРОГРАМІСТА	78
Шерстюк В., Чорний Д. ВДОСКОНАЛЕННЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗД МОДЕЛІ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ VR ШОЛОМУ OSVR HDR2	89
Повод Я., Шерстюк В. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ДАНИХ	98
Пальона В., Кирийчук Д. ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗВИТКУ ПРИРОДНИХ КАТАСТРОФ	108



CONTENTS

Sherstiuk V., Sokol I., Husiev V., Levkivskyi R. DYNAMIC PLANNING OF UNMANNED VEHICLES' TRAJECTORIES IN THE PROCESS OF PERFORMING COMPLEX OPERATIONS	7
Fisun M., Dvoretzkyi M., Dvoretzka S., Davydenko Y. USING THE METHOD OF ANALYZING HIERARCHIES TO OPTIMIZE THE DATABASE STRUCTURE OF THE NODE IN CORPORATE INFORMATION SYSTEMS	23
Stenin A., Pasko V., Gubskiy A., Drozdovych I. MODELING AND CALCULATION OF PERFORMANCE INDICATORS OF COMPUTER INFORMATION SYSTEMS	36
Zakharchenko R., Zakharchenko L., Kiryushatova T., Shtutsa O. STUDY OF NEURAL NETWORK LEARNING ALGORITHMS FOR IMAGE CLASSIFICATION	44
Zakharchenko R., Zakharchenko L., Kiryushatova T., Kybalko I. RESEARCH OF METHODS OF INFORMATION STORAGE IN DATA STORES	54
Sokol K., Ohnieva O. DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODELING SYSTEM FOR OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF A PASSIVE CLOSED HEATING SYSTEM	69
Polibina E. RESEARCH OF MODELS, METHODS AND INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ASSESSING THE PROGRAMMER'S QUALIFICATION	78
Sherstyuk V., Chorny D. IMPROVING THE VISUALIZATION OF THE 3D MODEL OF EMERGENCY DEVELOPMENT SCENARIOS WITH THE USE OF VR HELMET OSVR HDR2	89
Povod Ya., Sherstyuk V. RESEARCH OF METHODS OF REDUCTION OF EDUCATIONAL SAMPLING OF DATA	98
Palona V., Kiriychuk D. RESEARCH OF MATHEMATICAL MODELS FOR THE DEVELOPMENT OF NATURAL DISASTERS	108



ДИНАМІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЙ РУХУ БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТІВ В ПРОЦЕСІ ВИКОНАННЯ СКЛАДНИХ ОПЕРАЦІЙ

УДК 004.9

DOI:

Володимир Шерстюк,

д.т.н., професор, Херсонський національний технічний університет, Україна,

E-mail: vgsherstyuk@gmail.com, **ORCID** 0000-0002-9096-2582

Ігор Сокол,

к.т.н., доцент, докторант Херсонського національного технічного університету

ORCID 0000-0002-7324-1441

Віктор Гусев,

к.т.н., доцент, начальник коледжу Херсонської державної морської академії

ORCID 0000-0001-7775-2276

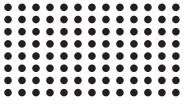
Руслан Левківський,

заст. начальника коледжу Херсонської державної морської академії

ORCID 0000-0001-9280-8098

Анотація. В статті розглянуто особливості керування спільним рухом великої групи безпілотних апаратів, що рухаються у тривимірному просторі взаємодії в межах різних середовищ при виконанні складних операцій з невизначеними та динамічними цілями. Запропоновано підхід до динамічного планування траєкторій руху безпілотних апаратів, заснований на інтуїтивно-евристичних методах. Побудовано модель гетерогенного ансамблю безпілотних апаратів та модель складної операції, що заснована на виконанні групою автономних безпілотних апаратів спільних місій, які відповідають певним ролям, що обираються на підставі відповідності технічних та функціональних характеристик безпілотних апаратів, та для виконання яких розробляються прототипи планів, що містять сценарії, складовими яких є траєкторії руху, визначені у дискретній багатовимірній моделі простору взаємодії. Новизна запропонованого підходу полягає у розв'язанні задачі динамічного планування множини маршрутів спільного руху групи безпілотних апаратів, організованих у гетерогенні ансамблі, що дозволяє безпілотним апаратам замінюючи, додаючи або видаляючи визначені послідовності дій у сценаріях та синхронізуючи їх у часі й просторі, маневрувати, уникаючи зіткнень і перешкод, та зберігаючи при цьому задану структурну та геометричну конфігурацію. Практична значимість запропонованого підходу полягає в тому, що його обчислювальна складність слабо залежить від числа об'єктів, які одночасно рухаються, що забезпечує продуктивність, достатню для роботи у реальному часі у складі бортової системи управління безпілотним апаратом.

Ключові слова: траєкторія руху, місія, сценарій, план, динамічне планування, безпілотний апарат, складна операція, гетерогенний ансамбль.



Постановка проблеми. Технічний прогрес стимулює застосування великих груп безпілотних апаратів (далі – БА) для вирішення низки задач, небезпечних для життя та/або здоров'я людини. Безпілотні апарати, що мають різний розмір, можливості, ролі та навіть середовище руху, можуть спільно виконувати призначені їм місії заради досягнення спільно визначеної мети. Група БА, що може бути подана як упорядкована множина виконавців, які спільно і одночасно за певними ролями виконують різні сценарії в межах призначених їм місій для досягнення заданої спільної мети, та має певну визначену структуру і стрій, утворює гетерогенний ансамбль БА. Оскільки дистанційно керовані операторами БА такі місії у великих групах виконувати не можуть через відсутні проблеми координації, виконавцями мають бути автономні БА, які наділені інтелектуальними можливостями та здатні самостійно або колективно приймати рішення в динамічному, частково спостережуваному та непередбачуваному середовищі.

Автономний БА має створити попередній план, який передбачає рух до певних визначених точок у просторі та виконання необхідних дій в цих точках простору з урахуванням міркувань безпеки та ефективності. Виконання місії потребує виконання цього плану. Оскільки рух БА є однією з найважливіших його функцій, складовою плану виконання місії є запланована траєкторія руху, яку подають послідовністю точок у тривимірному просторі, які пов'язують з конкретними відліками часу. Хоча під час планування намагаються врахувати всі, можливо, навіть суперечливі критерії, внаслідок непередбачуваності, динамічності, невизначеності та слабкої спостережуваності середовища спланована траєкторія руху БА не є остаточною, оскільки динаміка середовища часто створює необхідність змінювати заздалегідь визначені траєкторії.

Оскільки БА є рухомими об'єктами, їх спільний рух зазвичай обмежено динамічними параметрами, технічними можливостями, різними динамічними та ситуаційними збуреннями. Рухаючись, вони мають підтримувати певну задану просторову конфігурацію (стрий), тобто зберігати відносну позицію або місце в побудові просторової структури ансамбля під час виконання місії, а також зберігати безпечну відстань від інших БА ансамблю та оминати різного роду перепони.

Впливи середовища на заздалегідь сплановані траєкторії руху збурюють їх і змушують БА маневру-

вати, змінюючи свої траєкторії. Однак, при спільному русі великих груп зміна траєкторії руху одним з БА, який оминає динамічну перешкоду, може відчутно вплинути на траєкторії руху інших БА, змушуючи їх з міркувань безпеки також маневрувати. Враховуючи наявність обмежень щодо безпечної відстані між БА одночасно із збереженням просторової конфігурації, а також певні відмінності в законах і особливостях руху БА різними середовищами, керування їх спільним рухом під час виконання операцій гетерогенним ансамблем є доволі складним. Особливо ускладнює керування спільним рухом ансамбля БА наявність невизначених та динамічних цілей, що змушує «на льоту» змінювати виконуваний сценарії та місії з відповідними змінами траєкторій руху.

Отже, враховуючи складність проблем керування, що виникають під час спільного руху гетерогенного ансамблю БА, актуальною є задача дослідження і розробки моделей і методів управління спільним рухом безпілотних апаратів у гетерогенних ансамблях у реальному часі. Питання керування спільним рухом БА знайшли своє відображення в роботах багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених, проте на даний час ці питання відпрацьовані недостатньо, отже, їх дослідження є актуальною та перспективною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. БА, що спільно виконують місії, рухаючись у заданому тривимірному просторі, мають координувати та синхронізувати свій рух та дії в часі й просторі [1]. Маршрут та траєкторію руху БА планують з огляду на виконання певного сценарію, враховуючи при цьому як міркування безпеки та ефективності, так і низку суперечливих критеріїв, таких як наявність палива, часу, дистанція зв'язку тощо. Оскільки середовище руху є динамічним і непередбачуваним, його впливи та впливи інших рухомих об'єктів створюють збурення, які змушують БА змінювати заплановану траєкторію руху (маневрувати) [2].

Оскільки зміна траєкторії руху одним БА може відчутно впливати на траєкторії руху інших БА, як з міркувань безпеки руху, так і з міркувань збереження заданої структури та просторової конфігурації, бортова система управління БА має вирішувати задачу динамічного планування траєкторії руху [3] безпосередньо під час виконання сценарію у реальному часі, що включає в тому числі уникнення перешкод, підтримку заданого строю й конфігурації та пом'якшення умов невизначеності та ризику.

Зазвичай, задачу планування траєкторії руху БА при їх індивідуальному застосуванні вирішують за допомогою достатньо простих методів, заснованих на використанні потенційних полів або методів RRT та PRM [4].

В умовах одночасного маневрування декількох БА їх взаємні впливи обумовлюють ітеративні обчислення, які мають тим більшу обчислювальну складність, чим більше рухомих об'єктів зосереджено у просторі взаємодії. Отже, використання вищезазначених методів у великих групах БА є недоречним [5].

Використання класичних методів штучного інтелекту на кшталт нейронних мереж, генетичних та еволюційних алгоритмів тощо, які є нелінійними, також не є релевантним через неможливість отримання рішення за кінцевий заданий час [6].

Отже, існує певне протиріччя між складністю проблеми управління спільним рухом гетерогенного ансамбля БА в контексті динамічного планування їх маршрутів і траєкторій та необхідністю вирішувати цю проблему в реальному часі. Чим більшою є чисельність виконавців в ансамблі та складнішою є його структура, тим важче забезпечити можливість виконавцям одночасно рухатися до заданих цілей, уникаючи перешкод і зіткнень та підтримуючи заздалегідь визначену просторову конфігурацію [7].

Для усунення вказаного протиріччя доречно використати нетрадиційні, інтуїтивно-евристичні підходи до динамічного планування траєкторій руху БА, однак, наразі такі підходи опрацьовані недостатньо, а проблема є надто далекою від вичерпного рішення, що істотно стримує використання великих груп БА для виконання спільних операцій на обмеженому просторі. Отже, задача розробки моделей і методів динамічного планування траєкторій руху групи БА при виконанні ними складних операцій в умовах невизначеності та динаміки цілей є актуальною.

Проблеми динамічного планування траєкторій руху групи БА найчастіше досліджувалися з точки зору виявлення та уникнення зіткнень [8]. Проблема виявлення та уникнення зіткнень за умов спільного руху тісно пов'язана як з безпекою БА, так і з успішністю виконання місії.

Існуючі підходи до динамічного планування траєкторій руху БА за умов виявлення зіткнення можна поділити на активні і пасивні, відповідно до типу датчиків, що забезпечують вхідну інформацію. У більшості випадків ці дані базуються на активному типі датчиків

(радіолокатори, сонари тощо) [9], проте застосовуються і пасивні датчики, такі як електрооптичні або інфрачервоні камери [10].

Існуючі методи динамічного планування траєкторій руху БА за умов виявлення зіткнення можна в основному поділити на методи, засновані на кінематиці та геометрії [7], методи, що базуються на нечіткій логіці [11], та методи, що засновані на комп'ютерному моделюванні навігаційної ситуації [12]. Методи керування спільним рухом можуть також бути поділені на реактивні та попереджувальні [13]. Перші звичайно змінюють траєкторію руху БА у відповідь на виникнення перешкоди руху чи виявлення можливого зіткнення, тобто працюють у реальному часі, на відміну від других, які зазвичай намагаються прогнозувати потрібні траєкторії всіх учасників спільного руху під час вирішення задачі планування маршрутів (path planning).

Зрозуміло, що при використанні великих груп БА, що рухаються одночасно в різних середовищах, використання як реактивних, так і попереджувальних методів суттєво ускладнюється, бо за допомогою перших стає складно забезпечити реагування в реальному часі, а за допомогою других складно точно спрогнозувати можливі траєкторії одночасно всіх рухомих об'єктів, а значне число обмежень не завжди дає можливість отримати рішення задачі планування маршрутів.

Активні підходи, як правило, засновані на кінематиці та геометрії, і ґрунтуються на так званій «точці зіткнення» [14], яка за умов пасивного підходу не буде доступною. Проте, використання пасивного підходу дозволяє «візуально» виявляти маневрування динамічних об'єктів, що при застосуванні активного підходу складає певну проблему [10]. Обидва підходи мають свої переваги і недоліки, що ставить питання доцільності їх комбінації [15].

Методи, засновані на кінематиці та геометрії, зазвичай використовують відносні просторові оцінки, такі як «конуси зіткнення», «домени безпеки», «точки найкоротшого зближення» тощо [16]. Альтернативну оцінку, засновану на аналізі складного руху об'єктів на підставі їх кінематики, запропоновано в [17], проте, такі оцінки можуть використовуватися за умов пасивного підходу. Треба зауважити, що за умов спільного руху великої групи динамічних об'єктів використання методів, заснованих на кінематиці та геометрії, є неприйнятним для реактивного керування, бо обчислювальна складність

експоненційно зростає відносно числа рухомих об'єктів. Методи, що засновані на комп'ютерному (в т.ч. мультиагентному) моделюванні [18], мають такий самий недолік.

Отже, для динамічного планування траєкторій руху безпілотних апаратів доцільно використовувати інтуїтивно-евристичні методи, отже, необхідно шукати гібридні рішення, які дозволять забезпечити достатньо низьку обчислювальну складність, яка не залежить або слабо залежить від числа динамічних об'єктів, що одночасно рухаються, від чого залежить працездатність методів динамічного планування траєкторій руху у реальному часі.

Мета дослідження. Метою даної статті є опрацювання підходу до динамічного планування траєкторій руху безпілотних апаратів у великих гетерогенних ансамблях, що є працездатними у реальному часі, на підставі сценарних методів, що адекватні виконанню складних операцій з динамічними та невизначеними цілями.

Виклад матеріалу дослідження. Розглянемо тривимірний евклідовий простір C , який дискретизовано сіткою $D = \{d_{xyz}\}$ ізометричних кубічних комірок d_u однакового розміру, де x, y, z відповідають координатам комірок. Таким чином, кожна клітина $d_{xyz} \in D$ є просторовим об'єктом найменшого розміру. Розташування кожного БА, а також перепон та цілей, є дискретним та окреслено у просторі межами певних комірок.

Визначимо T як відкриту множину відліків часу. Побудуємо дискретну модель часу за допомогою відношення суворого порядку $<_t$ на множині відліків T , таку що $T = ([t_i, t_{i+1} = t + \Delta t), <)$.

Нехай U – множина БА, Φ – множина виконуваних ними функцій, Cl – множина класів БА, F – множина їх параметрів, та H – множина заданих цілей. Будемо розглядати певну підмножину БА $u_i, \dots, u_m \in U$ та певну підмножину цілей $h_e, \dots, h_l \in H$, розсіяних у межах простору руху D в процесі виконання спільної операції Op .

Отже, кожен БА $u_i \in U$ належить до певного класу $cl_k \in Cl$ відповідно до своїх параметрів і можливостей і може виконувати певний набір функцій $\Phi_i = \{\varphi_{0k}, \varphi_{1k}, \dots, \varphi_{mk}\}$. Відзначимо, що кожен u_i певного класу cl_k має виконувати принаймні одну функцію $\varphi_{0k} \in \Phi$, яка є функцією руху.

Треба відзначити, що на відміну від багатьох задач, в яких множину цілей визначено наперед та відповідно задано їх розташування у просторі, задача виконання операції у контексті даного дослідження відрізняється тим, що ні склад цілей, ні їх розташування у просторі наперед невідомо. Отже, під час виконання операції потрібно знайти певні цілі $h_l \in H$, ідентифікувати їх саме як цілі даної операції, та визначити їх розташування у простору руху D .

Стан кожного БА $u_i \in U$ може бути описано динамічним набором значень параметрів $F_i(t) = \{f_{i1}(t), \dots, f_{is}(t)\}$ на заданий момент часу $t \in T$. Рухаючись, БА змінюють своє просторове положення (координати) та, відповідно, свій стан $F_i(t)$ з плином часу та мають уникати перешкод та зіткнень з іншими БА.

Нехай задано функцію $Pos(u)$, яка повертає позицію БА $u_i \in U$ у вигляді тривимірних координат в межах простору руху D , тобто $\langle Pos(u_i), t_i \rangle = (\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)_{u_i}$, $Pos(u_i) \in X$. Нехай тепер $TP \in T$, WP є певною точкою шляху, за яким рухається БА, поданою у межах простору руху у вигляді комірки $d \in D$, або у вигляді тривимірної області $b = \{d_{ijk}, \dots, d_{lmn}\} \in D$, та FP є станом БА у певний момент часу $t \in T$, $FP = F_i(t)$.

Очевидно, що шлях (маршрут) кожного БА може бути подано як певну послідовність точок шляху WP , пов'язаних з певними моментами часу TP . Іншими словами, маршрут можна визначити як упорядкований масив пар (TP, WP) , що є зручним способом контролю та координації спільної діяльності БА, і насамперед їх спільного руху. Очевидно також, що будь-яку WP може бути подано з певним наближенням як тривимірну область $b \in D$, що є зручним способом подання невизначеності щодо просторового положення БА або будь-яких інших об'єктів.

Отже, $\langle t_i, Pos(u_i) \rangle = \langle TP, WP \rangle_{(i,l)}$, і траєкторія БА $u_i \in U$ протягом інтервалу часу $t \in [t_i, t_m]$ може бути визначена як послідовність $[\langle TP, WP \rangle_{(i,l)} \dots \langle TP, WP \rangle_{(i,m)}]$.

Припустимо, що БА $u_i \in U$ повинен зайняти певну позицію $Pos(u_i)$ в момент часу $t_i \in T$ для виконання певної функції $\varphi_j \in \Phi$. Відзначимо, що важливо розрізняти функції, які виконуються лише один раз у певній

позиції (наприклад, вивантажити улов), від функцій, які виконуються безперервно під час руху БА від однієї до іншої точки шляху (наприклад, траління).

Відповідно, кортеж (пентада)

$$\langle t_l, Pos(u_i), F_i(t_l), \varphi_j, t_j \rangle$$

встановлює, що БА $u_i \in U$ має виконувати певну функцію $\varphi_j \in \Phi$ протягом інтервалу часу $[t_l, t_j] \in T$, попередньо зайнявши позицію $Pos(u_i)$ (WP) і перебуваючи у стані $F_i(t_l)$ (FP) в момент часу $t_l \in T$ (TP).

В такому разі, послідовність

$$Tr(u_i)_l^m = \left[\langle t_l, Pos(u_i), F(u_i, t_l), \varphi_j, t_j \rangle \dots \langle t_m, Pos(u_i), F(u_i, t_m), \varphi_k, t_k \rangle \right]$$

є траєкторією активності БА $u_i \in U$ на інтервалі часу $\dot{u} \in [l, m]$ що повністю визначає активність зазначеного БА на даному інтервалі часу. Він також може бути поданий у вигляді вектору

$$\dot{u} (i)_l^m = \left[\langle \langle WP, TP, FP \rangle_{(i,l)}, \varphi_j, t_j \rangle \dots \langle \langle WP, TP, FP \rangle_{(i,m)}, \varphi_k, t_k \rangle \right].$$

Нехай G є множиною груп БА. Кожна група $g_q \in G$, в свою чергу, є динамічною множиною БА, оскільки в різні моменти часу $t \in T$ така група може складатися з різної кількості різних БА.

Розглянемо множину груп $\dot{u}_1, \dots, \dot{u}_m \in$ та окремих БА $u_1, \dots, u_n \in U$, розсіяних у межах простору руху D задля проведення спільної операції Op з певною метою, для рибальської операції – вилов певного обсягу риби із знайдених в процесі виконання операції косяків. Просторова позиція кожної із цілей $h_p \in H$, тут може змінюватися з плином часу та може бути представлена приблизно парою $\langle t_l, Pos(h_p) \rangle$ за допомогою функції $Pos(h_p)$, яка повертає тривимірну просторову область $b_p \in D$ в межах простору руху D .

Довготривала операція Op складається з множини місій $\dot{u} = \{ \dot{u}_1, \dots, \dot{u}_n \}$, які можуть виконуватися як послідовно, так і паралельно (одночасно). Виконання певної місії $m_j \in M$ може бути призначене певному БА $u_i \in U$ або групі БА $g_q = \{ u_j, \dots, u_l \} \subseteq U$.

Нехай R є множиною ролей. Місія $m_j \in M$ може призначати одну або декілька конкретних ролей певним

БА, які мають виконувати їх спільно і одночасно. Таким чином, множина призначених ролей R має охоплювати всю множину можливих місій $\dot{u} = \{ \dot{u}_1, \dots, \dot{u}_n \}$, необхідних для виконання Op . Для цього підмножині БА $\dot{u}_1, \dots, \dot{u}_n \in$ призначаються відповідні ролі з множини ролей R , кожна з яких визначає спроможність певного БА виконувати ту чи іншу місію.

Отже, розглянемо БА $U_{op} = \{ u_i, \dots, u_n \} \subseteq U$ відповідних класів $\{ cl_k, \dots, cl_z \} \in Cl$ об'єднаних в певні групи $G_{op} = \{ g_1, \dots, g_m \} \subseteq G$. Якщо БА $\{ \dot{u}_i, \dots, \dot{u}_n \} \in$ виконують певні місії $M_{op} = \{ m_1, \dots, m_u \} \subseteq M$ з призначеними (відмінними) ролями $R_u = \{ r_1, \dots, r \} \in R$ в контексті певної операції Op , то означені БА $\{ u_i, \dots, u_n \} \in U_{op}$ утворюють гетерогенний (неоднорідний) ансамбль En , що може бути визначений множиною БА U_{op} та груп G_{op} , які беруть участь в ансамблі, а також множиною оперативних місій M_{op} та ролей R_{op} .

Однозначно, ансамбль En має деревоподібну структуру $Str(En)$ і форму (стрій) $Shp(En)$; остання визначає його динамічну просторову конфігурацію $V(En, t)$. Структура $Str(En)$ подає головним чином структурний аспект, тоді як форма $Shp(En)$ подає геометричний (просторовий) аспект ансамблю щодо виконуваної операції Op .

Отже, $En = \langle Op, U_{op}, G_{op}, M_{op}, R_{op}, Str(En), Shp(En) \rangle$ (рис. 1).

Якщо БА $u_k \in U$ є учасником En , він має виконувати певну послідовність призначених йому місій $M_k = [m_{k1}, \dots, m_{kn}]$ відповідно до заданих ролей $R_k = [r_{k1}, \dots, r_{kn}]$. Кожна роль $r_{kj} \in R$ в рамках місії $m_{ki} \in M$ може бути реалізована шляхом виконання певного сценарію активності Ω_{kl} (рис. 2). Зазвичай сценарій вимагає, щоб БА рухався відповідно до заданої послідовності позицій $[WP_{k1}, \dots, WP_{kp}]$ і виконував призначені дії у визначених WP/TP. Отже, траєкторія активності $Tr(u_k) \in$ об'єктивацією сценарію Ω_{kl} під час його виконання.

Тож сценарій певної БА-місії можна представити як бажану траєкторію його активності, що визначається послідовністю точок шляху, пов'язаних із відповідними точками часу та станом БА у відповідних точках часу, а отже, може бути подана як вектор трійок виду $\langle WP, TP, FP \rangle$. Крім того, активність має містити певні

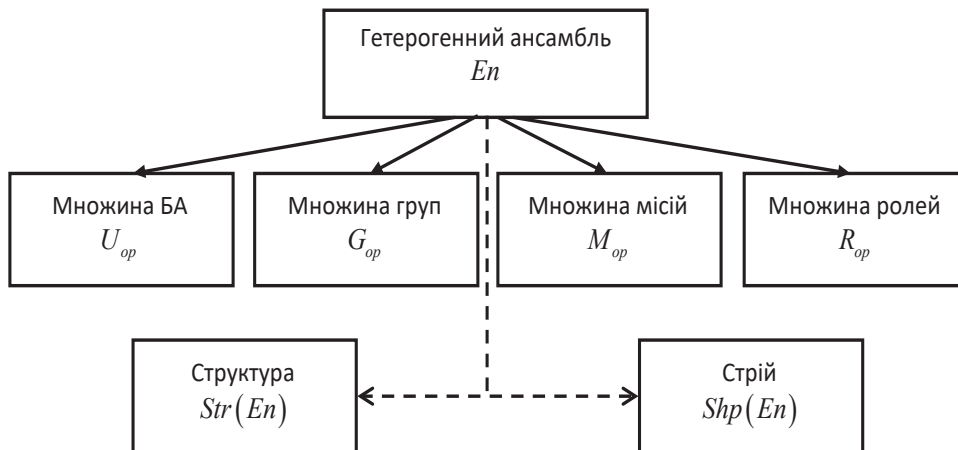


Рис. 1 – Визначення гетерогенного ансамблю БА

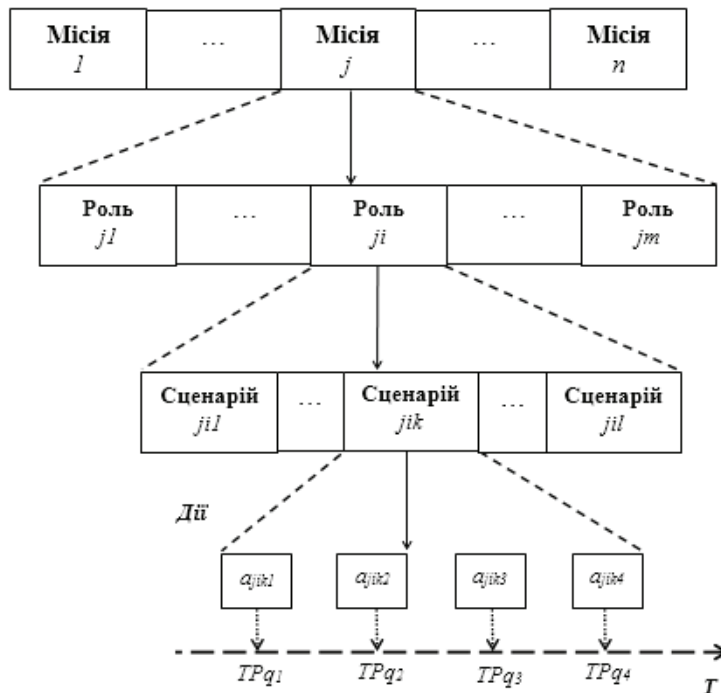


Рис. 2 – Структура складної операції

дії, пов'язані з виконанням БА конкретної функції. За сценарієм, БА $u_i \in U$ в кожній визначеній TP повинен знаходитись у відповідній точці WP , маючи певний стан FP і виконуючи певну функцію $\varphi_{hk} \in \Phi$ або множину функцій $\{\varphi_{hk}, \dots, \varphi_{sk}\} \in \Phi$.

Взаємне розташування точок шляху WP всіх задіяних у ансамблі БА $\{u_i, \dots, u_n\} \in U_{op}$ в певний момент часу $t \in T$ (або в певній точці часу TP) визначає його просторову конфігурацію $V(En, t)$. Позначимо певну пентаду, таку що $\langle t_i, Pos(u_k), F_k(t_i), \varphi_j, t_j \rangle$, через ρ_{kl} . Тоді

сценарій активності Ω_{kl} може бути поданий послідовністю пентад $\Omega_{kj} = [\rho_{ki}, \dots, \rho_{kl}]$, де $t_i < t_l$.

Розглянемо операцію в цілому. Схема операції $Sch(Op) = \{m_1, \dots, m_n\}$ містить множину місій, які мають бути призначеними певним БА $\{u_i, \dots, u_n\} \in U_{op}$, що є членами ансамблю En в контексті операції Op . Деякі місії можна виконувати паралельно, а інші послідовно, після завершення іншої місії. У свою чергу кожна місія $m_j \in M_{op}$ містить множину ролей $\{r_{j1}, \dots, r_{jm}\} \in m_j$. Певний БА може брати участь у виконанні конкретної ролі,

виходячи з відповідності його функціональних та технічних можливостей.

Далі, кожна i -та роль r_{ji} в межах певної місії m_j може бути подана множиною альтернативних сценаріїв активності $_{ji} = \langle \Omega_{ji1} | \dots | \Omega_{ji1} \rangle$, які формують деревоподібну схему операції (рис. 3), яка може бути подана як

$$Sch(Op) = \left\{ \left\{ \langle \Omega_{111} | \dots | \Omega_{1m1} \rangle, \dots, \langle \Omega_{jm1} | \dots | \Omega_{jml} \rangle \right\}, \dots \right\},$$

$$\left\{ \left\{ \langle \Omega_{n11} | \dots | \Omega_{nml} \rangle, \dots, \langle \Omega_{nm1} | \dots | \Omega_{nml} \rangle \right\} \right\},$$

де перший індекс сценарію подає місію в рамках операції Op , другий індекс – роль в рамках цієї місії,

а третій індекс – альтернативу сценарію в рамках цієї ролі.

Множина всіх сценаріїв, які виконуються спільно та одночасно у межах схеми операції, розподіляє активність ансамблю En у просторі та часі. Очевидно, що спільна активність всіх залучених виконавців $\{u_i, \dots, u_n\} \in U_{op}$ має бути синхронізована у часі та просторі.

Структура $Str(En)$ ансамблю En залежить від його форми (строю) $Sch(Op)$, тоді як останній залежить від зміни просторових позицій усіх учасників ансамблю En та їх ролей $r_{kj} \in R_{op}$, а також від зміни місця розташування виявлених цілей $Pos(h_j, t_l)$, $h_j \in H$, $t_l \in T$.

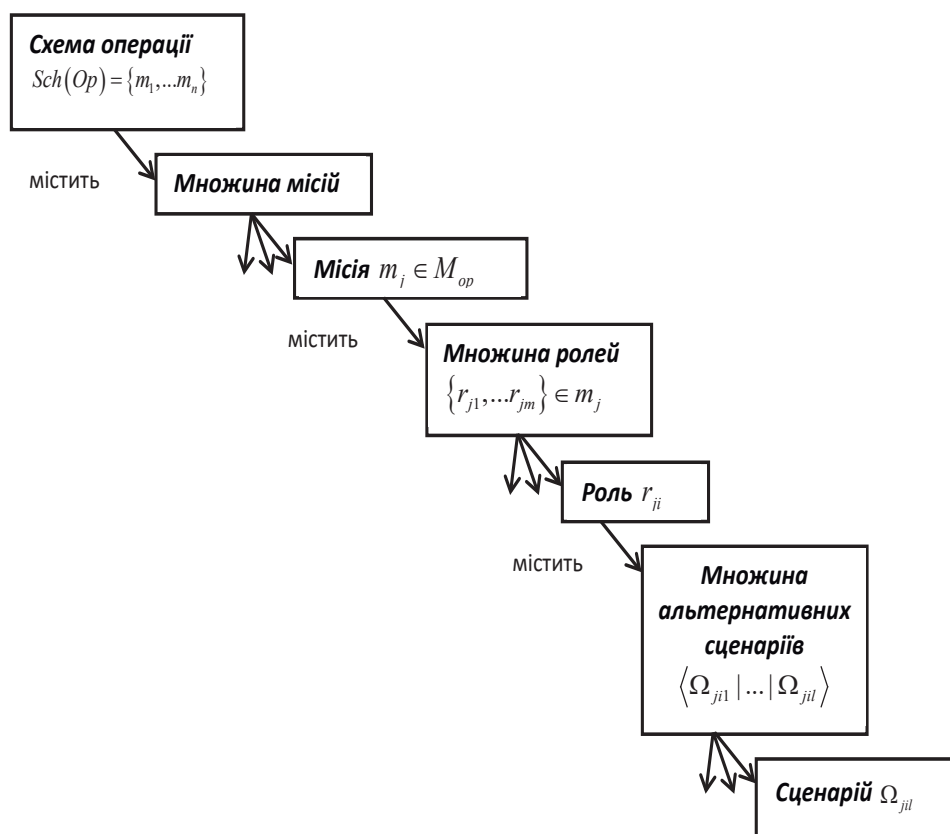


Рис. 3 – Визначення схеми операції

Отже, просторові позиції всіх учасників ансамблю En становлять його схему $Shp(En)$, яка суттєво залежить від поточної ситуації Sit , що, в свою чергу, визначається поєднанням просторового розподілу виявлених цілей та просторової конфігурації $V(En, t)$ ансамблю, стану БА, стану навколишнього середовища, заданих обмежень тощо.

Нехай існує функція $\zeta_U(U_{op}, r_{kj}) \rightarrow u_k$, що призначає задану роль $r_{kj} \in R_{op}$ найбільш релевантному БА $u_k \in U_{op}$ на основі відповідності його функціональних та технічних можливостей, та функція $\zeta_S(r_{kj}, u_k) \rightarrow \Omega_{kj}$, яка обирає релевантний сценарій Ω_{kj} , виходячи з заданої ролі $r_{kj} \in R_{op}$ та її виконавця $u_k \in U_{op}$. Ці функції мають обов'язково міститись у схемі операції.

Розглянемо питання планування місії. Для кожного БА $u_k \in En$ попередньо будується план $Pl(M_k)$ виконання кожної чергової місії $m_j \in M_{op}$, у вигляді певного прототипу сценаріїв у контексті поточної ситуації Sit , який містить в тому числі заплановану траєкторію активності $Tr(u_k)$. У свою чергу, для кожного прототипу $Pl(M_k)$ має обиратися відповідний сценарій Ω_{kj} .

Отже, здійснення рибальської операції Op можна представляти як реалізацію певного спільного плану $Pl(Op) = Pl(m_i) \circ \dots \circ Pl(m_l)$, який складається з планів окремих місій $m_i, \dots, m_l \in M_{op}$, виконуваних БА $u_i, \dots, u_l \in U_{op}$ відповідно до своїх ролей $r_j \in R_{op}$ у ансамблі En .

Кожен план місії $Pl(m_k)$ є лише початковим, попереднім планом, який отримують як розв'язок задачі глобального планування для відповідного сценарію Ω_{kj} , який визначає послідовність точок шляху, точок часу та виконуваних функцій. Наразі, він містить лише абстрактні (формальні) значення всіх вищенаведених параметрів, а тому є прототипом плану. Як тільки формальні параметри будуть замінені фактичними параметрами, що відповідають поточній ситуації Sit , цей план буде конкретизований у конкретний сценарій активності (актуалізований) з чітко визначеною траєкторією $Tr(u_k)$. Отже, початковий план всієї операції $Pl(Op)$, а також відповідні плани місій $Pl(m_k)$ окремих БА $u_k \in En$, слід визначати виходячи із їх взаємного про-

сторового положення та позицій виявлених цілей h_j , на які мають бути націлені ці місії.

Безсумнівно, реалізація вищезазначених планів може бути порушена через збурення середовища руху. Адже, через непередбачуваність зовнішнього середовища (погодні умови, непередбачувані перешкоди тощо) БА $u_k \in En$, що виконує призначений йому сценарій Ω_{kj} , піддається впливу численних динамічних та ситуаційних збурень, тому його запланована траєкторія активності $Tr(u_k)$ може бути суттєво порушена. Очевидно, що зміна позицій будь-яких рухомих об'єктів, в тому числі БА, перешкод та цілей, призводить до необхідності зміни виконуваних планів шляхом оновлення значень їх фактичних параметрів, що, в свою чергу, призводить до реактуалізації або навіть заміни певних сценаріїв.

Отже, БА, рухаючись, мають маневрувати, уникаючи зіткнень та оминаючи перешкоди, та при цьому підтримуючи визначений стрій ансамбля $Shp(En)$, що разом є складною задачею, розв'язання якої вимагає належної реактуалізації призначеного сценарію Ω_{kj} , що призводить до необхідності частих змін плану $Pl(m_k)$ «на льоту», які можуть виконуватися шляхом заміни, додавання або видалення пентад ρ_{kl} в межах $Tr(u_k)$.

Розглянемо приклад, стосовний операції промислового рибальства. Нехай БА u_0 і u_1 разом виконують парну місію вилову зграї риби h_1 , тягнучи знаряддя лову (сітку) назустріч руху рибної зграї. Відповідні плановані траєкторії БА u_0 і u_1 представлено на рис. 4.

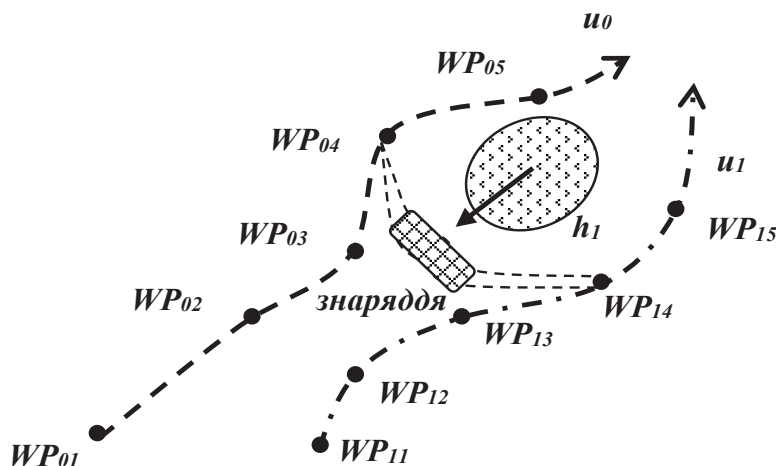


Рис. 4 – Початкова ситуація

Можливу трансформацію траєкторій руху БА u_0 і u_1 у відповідь на ситуативне збурення, спричинене непередбачуваною зміною напрямку та швидкості руху зграї h'_1 , представлено на рис. 5. Як видно, реакція на ситуацію, що сталася внаслідок збурення, здійснюється зміною точок шляху WP_{04} , WP_{05} , WP_{14} , WP_{15} у відповідності до точок часу TP_4 , TP_5 .

Будемо вважати будь-які зміни будь-яких параметрів спільного руху БА в ансамблі En подіями. Події віддзер-

калюють такі зміни траєкторії БА, що рухаються спільно і одночасно, які можуть змінювати хід процесу спільного виконання їх місій, тому потребують адекватної реакції. Кожна подія, яка виникає внаслідок збурення, спричиняє певну ситуацію Sit . Оскільки умови виконання поточного сценарію Ω_{kj} для БА $u_k \in En$ внаслідок збурення змінюються, це вимагає зміни виконуваного сценарію (тобто «перебудови» послідовності дій) задля своєчасного та адекватного реагування на цю подію.

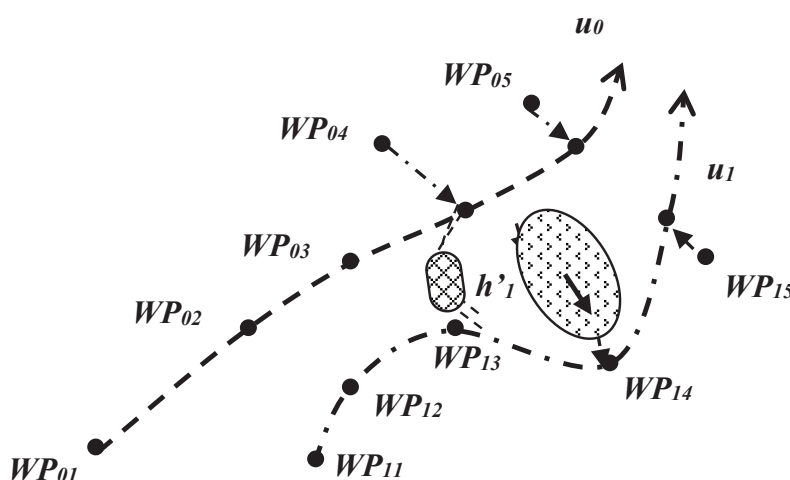


Рис. 5 – Виникнення ситуаційного збурення

Припустимо, що сценарій є певною варіабельною послідовністю дій $\Omega_{kj} = [a_{kj1}, \dots, a_{kjq}]$, де кожна дія a_{kjl} розглядається як певна зміна значень параметрів руху БА (наприклад, швидкості руху або напрямку). Така реакція на подію може бути реалізована або шляхом зміни плану місії $Pl(m_k)$, або перебудови, коригування або адаптації поточного сценарію Ω_{kj} шляхом додавання, заміни або видалення певних пентад, або через пошук нового, більш релевантного сценарію Ω'_{kj} , або (за потреби) навіть через зміну форми $Str(En)$ або структури $Str(En)$ ансамблю En (рис. 6).

Оскільки подія, що виникла, може призвести до зміни умов виконання сценарію не тільки для окремого БА, але і для декількох оточуючих БА або навіть для цілої групи БА одночасно, всі вони можуть почати одночасно реагувати на подію, змінюючи свої плани та виконувані сценарії (рис. 7).

Отже, головною проблемою і викликом складної операції Op є вимушені зміни спільного руху її вико-

навців $\{u_1, \dots, u_n\} \in U_{op}$, що втілюються в одночасну зміну їх виконуваних сценаріїв $\Omega_{i1}, \dots, \Omega_{in}$. Оскільки зміни сценарію для одного з БА призводять до зміни умов виконання сценарію для інших БА, існує потреба вирішити проблему узгодження їх траєкторій активності $Tr(u_1), \dots, Tr(u_n)$ у часі та просторі, щоб, з одного боку, попередити можливість зіткнень з іншими БА, але, з іншого боку, зберегти заданий стрій всього ансамблю $Shp(En)$.

Отже, впродовж виконання операції Op основними компонентами схеми її виконання $Sch(Op)$ будуть спільні маневри певних виконавців u_1, \dots, u_l , які відображаються у відповідних сценаріях $\Omega_{i1}, \dots, \Omega_{il}$ та повинні бути синхронізованими. Для здійснення синхронізації траєкторій $Tr(u_1), \dots, Tr(u_n)$, крім зміни плану місії, перебудови сценарію або пошуку нового сценарію, зміни форми або структури ансамблю, існує також ефективний інструмент реагування на події у вигляді зміни точок шляху у часі та просторі (рис. 8).

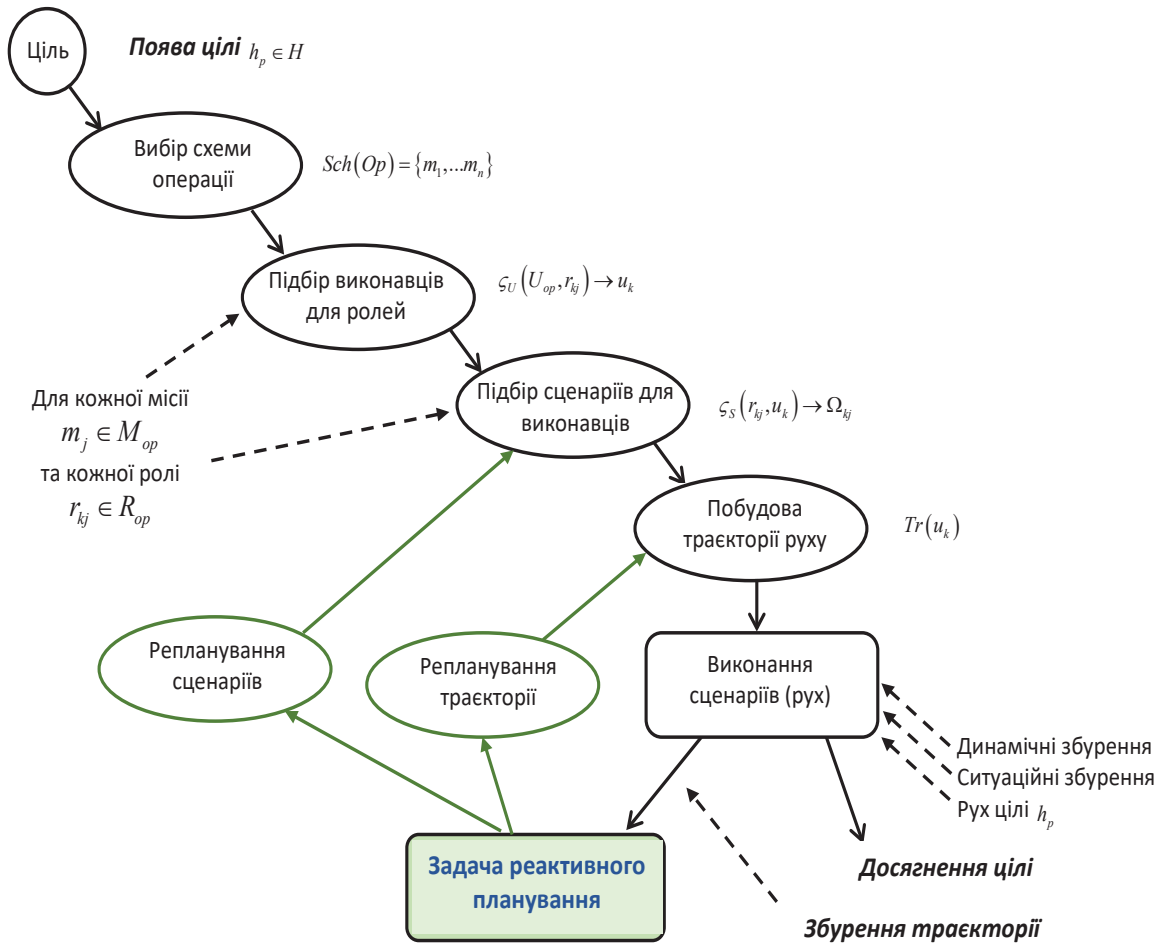


Рис. 6 – Варіанти реакції на ситуаційне збурення

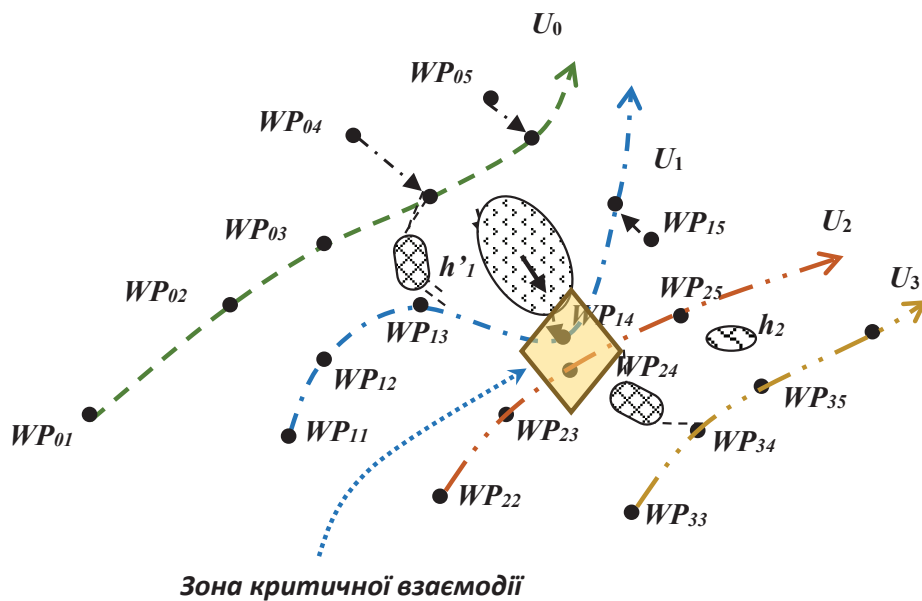


Рис. 7 – Виникнення множинного ситуаційного збурення

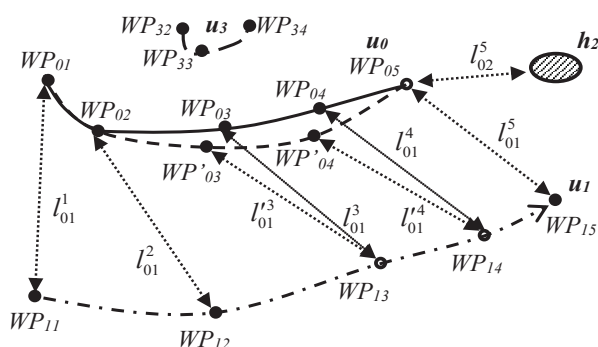


Рис. 8 – Зміни траєкторії руху

Зміна траєкторій руху БА-виконавцями $\{u_i, \dots, u_n\} \in U_{op}$ під час виконання операції Op у відповідь на ситуаційні збурення представляє собою задачу динамічного планування шляху, що відноситься до класу задач локального планування. Така задача має розв'язуватися системою управління БА у реальному часі.

Інструмент реактивного перепланування траєкторій руху пропонується у динамічному планувальнику «Вояджер», функціональну схему якого представлено на рис. 9, а структурну схему – на рис. 10.

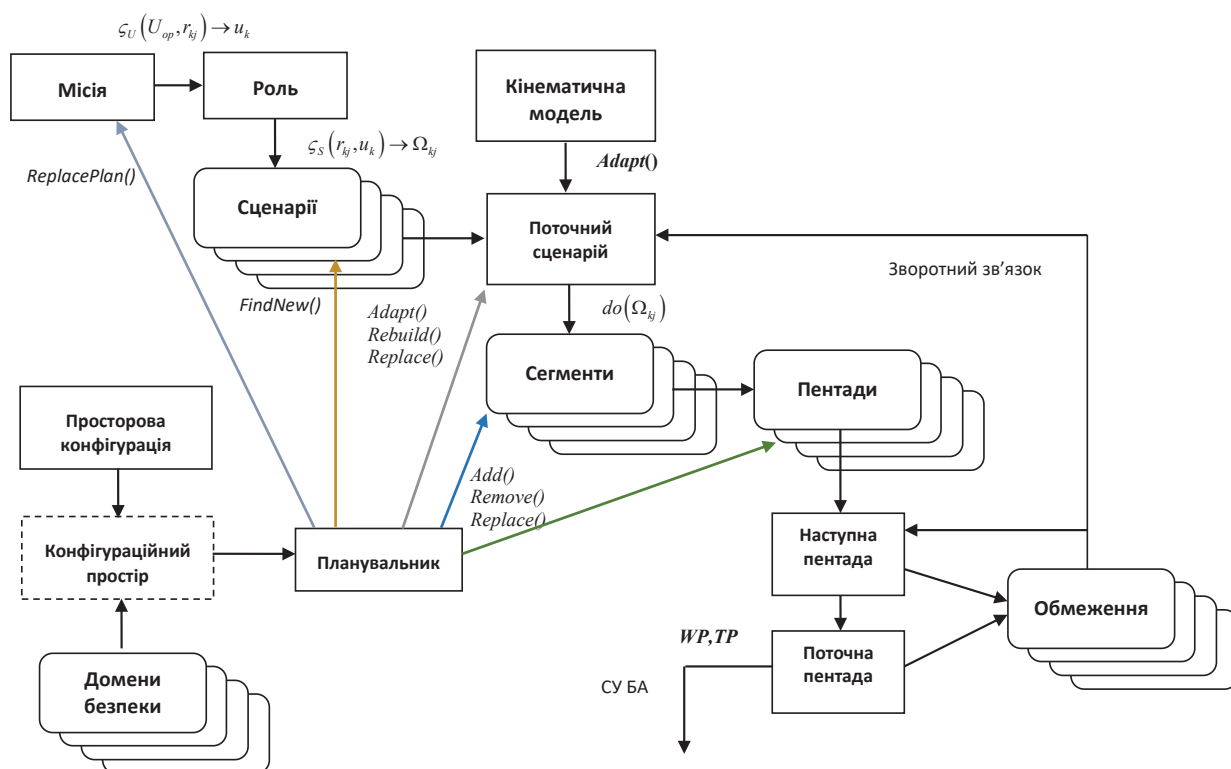


Рис. 9 – Функціональна схема планувальника траєкторій «Вояджер»

Динамічний планувальник «Вояджер» засновано на використанні гібридного методу пошуку безпечних траєкторій спільного руху та виконано у вигляді програмного модуля з використанням програмного інструментарію GNU для вбудованих процесорів ARM включно з мовою програмування C++ та відкритих програмних бібліотек ToPo та SoftTo. Розроблений програмний модуль реалізує представлений у статті підхід до динамічного планування траєкторій руху БА на основі моделі гетерогенного ансамблю безпilotних апаратів та моделі складної операції.

Динамічний планувальник «Вояджер» складається із програмної моделі конфігураційного простору, модуля визначення потенційних полів, модуля побудови коридорів руху та модуля суміщення траєкторій, які взаємодіють з процедурами, що реалізують алгоритм планування RRT. Він дозволяє змінювати план місії БА, шукати сценарій, релевантний поточній ситуації, виконувати реактуалізацію, зміну, або адаптацію поточного (виконаного) сценарію до умов виниклої ситуації, а також додавати, видаляти або замінювати

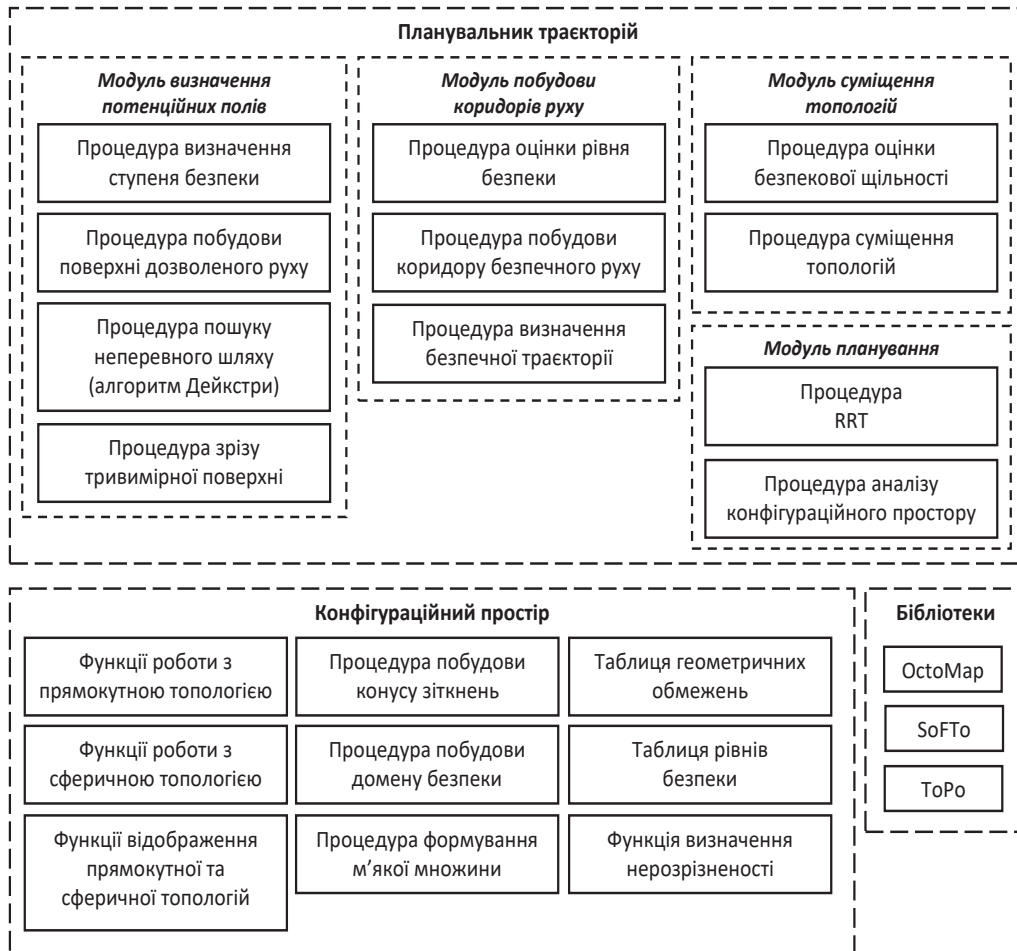


Рис. 10 – Структурна схема планувальника траєкторій «Вояджер»

сегменти шляху або пентади, що містяться в поточній траєкторії руху БА.

Програмний модуль було інтегровано до прототипу бортової системи управління, яку реалізовано на основі вбудованого мікроконтролера STM32F429 (180 МГц Cortex M4, 2 Мб Flash / 256 Кб ОЗП, QSPI Flash N25Q512). Динамічний планувальник траєкторій «Вояджер» використовує м'яку наближену модель конфігураційного простору, дозволяє визначити домени безпеки для кожного рухомого об'єкту, що спостерігається у просторі виконання операції, та будує траєкторії руху, що є адекватними умовам поточної ситуації.

Місце динамічного планувальника траєкторій «Вояджер» у бортовій системі управління БА «Бріз-М» представлено на рис. 11. Його використання у складі системи управління «Бріз-М» забезпечує продуктивність, достатню для здійснення динамічного планування безпечних траєкторій спільного руху БА у реальному часі.

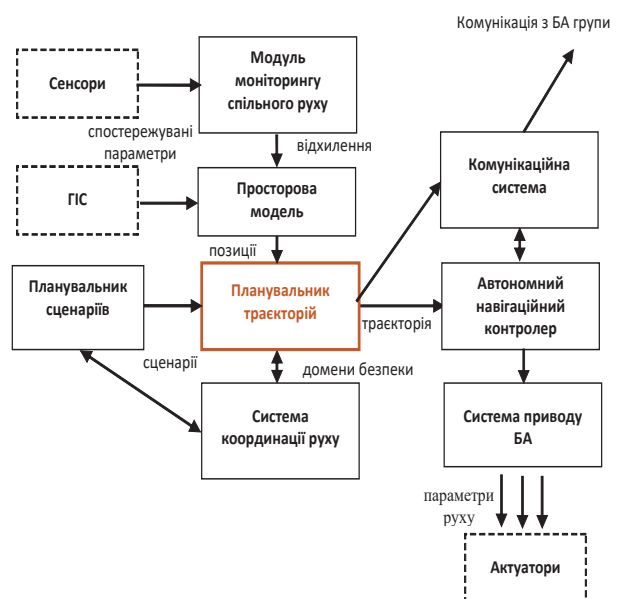
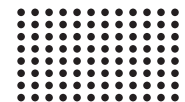


Рис. 11 – Структурна схема планувальника траєкторій «Вояджер»



Висновки. В статті розглянуто особливості керування спільним рухом великої групи безпілотних апаратів, що рухаються у тривимірному просторі взаємодії в межах різних середовищ при виконанні складних операцій з невизначеними та динамічними цілями. Запропоновано підхід до динамічного планування траєкторій руху безпілотних апаратів, заснований на інтуїтивно-евристичних методах, побудовано модель гетерогенного ансамблю безпілотних апаратів та модель складної операції, що заснована на виконанні групою автономних безпілотних апаратів спільних місій, які відповідають певним ролям, що обираються на підставі відповідності технічних

й функціональних характеристик безпілотних апаратів, та для виконання яких розробляються прототипи планів, що містять сценарії, складовими яких є траєкторії руху, визначені у дискретній багатовимірній моделі простору взаємодії. Запропонований підхід дозволяє безпілотним апаратам замінюючи, додаючи або видаляючи визначені послідовності дій у сценаріях та синхронізуючи їх у часі й просторі, маневрувати, уникаючи зіткнень і перешкод, та зберігаючи при цьому задану структурну та геометричну конфігурацію, та забезпечує продуктивність, достатню для роботи у реальному часі у складі бортової системи управління безпілотним апаратом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Sherstjuk, V., Zharikova, M., & Sokol, I. (2018). Forest Fire-Fighting Monitoring System Based on UAV team and Remote Sensing. In *Proceedings of 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology* (pp. 99–106). <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2018.8477527>
2. Sherstjuk, V. (2015). Scenario-Case Coordinated Control of Heterogeneous Ensembles of Unmanned Aerial Vehicles. In *Proceedings of the 2015 IEEE 3rd International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments* (pp.275–279). <https://doi.org/10.1109/APUAVD.2015.7346620>
3. Sargolzaei, A., Abbaspour, A., Crane, C.D. (2020). Control of Cooperative Unmanned Aerial Vehicles: Review of Applications, Challenges, and Algorithms. In: Amini M. (eds) Optimization, Learning, and Control for Interdependent Complex Networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1123, 229–255. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34094-0_10
4. Seif, R., Oskoei, M.A. (2015). Mobile Robot Path Planning by RRT* in Dynamic Environments. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 7(5), 24–30 <https://doi.org/10.5815/ijisa.2015.05.04>
5. Patle, B.K., Babu L, G., Pandey, A., Parhi, D.R.K., Jagadeesh, A.: A review: On path planning strategies for navigation of mobile robot. *Defence Technology*, 2019, 15(4), 582–606. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.04.011>
6. González, D., Pérez, J., Milanés, V., Nashashibi, F.: A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016, 17(4), 1135–1145. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2498841>
7. Kang, S., Choi, H., Kim, Y.: Formation flight and collision avoidance for multiple UAVs using concept of elastic weighting factor. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 2013, 14, 75–84. <https://doi.org/10.5139/IJASS.2013.14.1.75>
8. Cruz, G.C.S., & Encarnação, P.M.M. (2012). Obstacle Avoidance for Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Intelligent Robotic Systems*, 65(1-4), 203–217. <https://doi.org/10.1007/s10846-011-9587-z>
9. Lapierre, L., Zapata, R., & Lepinay, P. (2007). Combined Path-following and Obstacle Avoidance Control of a Wheeled Robot. *International Journal of Robotics Research*, 26(4), 361–375. <https://doi.org/10.1177/0278364907076790>
10. Carvalhosa, S., Pedro Aguiar, A., & Pascoal, A. (2010). Cooperative Motion Control of Multiple Autonomous Marine Vehicles: Collision Avoidance in Dynamic Environments. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(16), 395–400. <https://doi.org/10.3182/20100906-3-IT-2010.00069>
11. Ge, S.S., Lai, X.-C., & Al Mamun, A. (2007). Sensor-based path planning for nonholonomic mobile robots subject to dynamic constraints. *Robotics and Autonomous Systems*, 55(7), 513–526. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2007.02.003>
12. Skowron, M., Chmielowiec, W., Glowacka, K., Krupa, M., & Srebro, A. (2019). Sense and avoid for small unmanned aircraft systems: Research on methods and best practices. *Journal of Aerospace Engineering*, 233(16), 6044–6062. <https://doi.org/10.1177/0954410019867802>
13. Orefice, M., Di Vito, V., & Torrano, G. (2015). Sense and Avoid: Systems and Methods. In *Encyclopedia of Aerospace Engineering*, J. Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470686652.eae1149>
14. Tsourveloudis, N.C., Doitsidis, L., & Valavanis, K.P. (2005). Autonomous Navigation of Unmanned Vehicles: A Fuzzy Logic Perspective. In *Cutting Edge Robotics*, IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/4654>
15. Lyu, Y., Pan, Q., Zhao, C., Yu, C., & Hu, J. (2016). A UAV Sense and Avoid System Design Method Based on Software Simulation. In *Proceedings of 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems* (pp. 572–579). <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2016.7502673>
16. Häusler, A.J., Saccon, A., Pedro Aguiar, A., Hauser, J., & Pascoal, A. (2012). Cooperative Motion Planning for Multiple Autonomous Marine Vehicles. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(27), 244–249. <https://doi.org/10.3182/20120919-3-IT-2046.00042>
17. Polvara, R., Sharma, S., Wan, J., Manning, A., & Sutton, R. (2018). Obstacle Avoidance Approaches for Autonomous Navigation of Unmanned Surface Vehicles. *Journal of Navigation*, 71(1), 241–256. <https://doi.org/10.1017/S0373463317000753>
18. Hoy, M., Matveev, A., & Savkin, A. (2015). Algorithms for Collision-Free Navigation of Mobile Robots in Complex Cluttered Environments: A Survey. *Robotica*, 33(3), 463–497. <https://doi.org/10.1017/S0263574714000289>



DYNAMIC PLANNING OF UNMANNED VEHICLES' TRAJECTORIES IN THE PROCESS OF PERFORMING COMPLEX OPERATIONS

Volodymyr Sherstiuk,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kherson National Technical University, Ukraine,
e-mail: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-9096-2582

Ruslan Levkivlyi,

Deputy Director of
Maritime Applied College of Kherson State Maritime Academy,
ORCID 0000-0003-3114-179X

Viktor Husiev,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of
Maritime Applied College of Kherson State Maritime Academy,
ORCID 0000-0001-7775-2276

Ihor Sokol,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Student,
Kherson National Technical University,
ORCID 0000-0002-7324-1441

The paper considers the peculiarities of joint motion control of a large group of unmanned vehicles that move in three-dimensional interaction space within different environments when performing complex operations with uncertain and dynamic goals. An approach to dynamic planning of unmanned vehicles' trajectories based on intuitive-heuristic methods is proposed. A model of a heterogeneous ensemble of unmanned vehicles and a model of a complex operation based on the implementation of joint missions by a group of autonomous unmanned vehicles, which correspond to certain roles, selected on the basis of their technical and functional characteristics, and for which plsn prototypes are developed that contain scenarios, the components of which are the trajectories of motion, defined within a discrete multidimensional model of the interaction space. The novelty of the proposed approach is to solve the problem of dynamic planning of multiple trajectories of joint motion of a group of unmanned vehicles organized in heterogeneous ensembles, which allows unmanned vehicles to maneuver and avoid obstacles maintaining the specified structure and geometric configuration. through replacing, adding, or removing certain sequences of actions in scenarios and synchronizing them in time and space. The practical significance of the proposed approach is that its computational complexity is weakly dependent on the number of objects moving simultaneously, which provides sufficient performance for real-time operation in an on-board unmanned vehicle control system.

Keywords: *trajectory, mission, scenario, plan, dynamic planning, unmanned vehicle, complex operation, heterogeneous ensemble.*



ДИНАМИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ СЛОЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Владимир Шерстюк,

д.т.н., профессор,

Херсонский национальный технический университет, Украина,
e-mail: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-9096-2582

Руслан Левковский,

зам. начальника колледжа

Херсонской государственной морской академии
ORCID 0000-0003-3114-179X

Виктор Гусев,

к.т.н., доцент, начальник колледжа

Херсонской государственной морской академии,
ORCID 0000-0001-7775-2276

Игорь Сокол,

к.т.н., доцент, докторант,

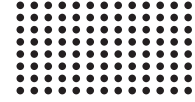
Херсонский национальный технический университет, Украина,
ORCID 0000-0002-7324-1441

В статье рассмотрены особенности управления совместным движением большой группы беспилотных аппаратов, движущихся в трехмерном пространстве взаимодействия в рамках различных сред при выполнении сложных операций с неопределенными и динамическими целями. Предложен подход к динамического планирования траекторий движения беспилотных аппаратов, основанный на интуитивно-эвристических методах. Построена модель гетерогенного ансамбля беспилотных аппаратов и модель сложной операции, основанной на выполнении группой автономных беспилотных аппаратов совместных миссий, которые соответствуют определенным ролям, выбираемых на основании соответствия технических и функциональных характеристик беспилотных аппаратов, и для выполнения которых разрабатываются прототипы планов, содержащих сценарии, составляющими которых являются траектории движения, определенные в дискретной многомерной модели пространства взаимодействия. Новизна предложенного подхода заключается в решении задачи динамического планирования множества траекторий общего движения группы беспилотных аппаратов, организованных в гетерогенные ансамбли, что позволяет беспилотным аппаратам заменяя, добавляя или удаляя определенные последовательности действий в сценариях и синхронизируя их во времени и пространстве, маневрировать, избегая столкновений и препятствий, и сохраняя при этом заданную структурную и геометрическую конфигурацию. Практическая значимость предложенного подхода заключается в том, что его вычислительная сложность слабо зависит от числа объектов, которые одновременно двигаются, что обеспечивает производительность, достаточную для работы в реальном времени в составе бортовой системы управления беспилотным аппаратом.

Ключевые слова: траектория движения, миссия, сценарий, план, динамическое планирование, беспилотный аппарат, сложная операция, гетерогенный ансамбль.

REFERENCES:

1. Sherstjuk, V., Zharikova, M., & Sokol, I. (2018). Forest Fire-Fighting Monitoring System Based on UAV team and Remote Sensing. In Proceedings of 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (pp. 99–106). <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2018.8477527>
2. Sherstjuk, V. (2015). Scenario-Case Coordinated Control of Heterogeneous Ensembles of Unmanned Aerial Vehicles. In *Proceedings of the 2015 IEEE 3rd International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments* (pp.275–279). <https://doi.org/10.1109/APUAVD.2015.7346620>



3. Sargolzaei, A., Abbaspour, A., Crane, C.D. (2020). Control of Cooperative Unmanned Aerial Vehicles: Review of Applications, Challenges, and Algorithms. In: Amini M. (eds) Optimization, Learning, and Control for Interdependent Complex Networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1123, 229–255. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34094-0_10
4. Seif, R., Oskoei, M.A. (2015). Mobile Robot Path Planning by RRT* in Dynamic Environments. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 7(5), 24–30 <https://doi.org/10.5815/ijisa.2015.05.04>
5. Patle, B.K., Babu L, G., Pandey, A., Parhi, D.R.K., Jagadeesh, A.: A review: On path planning strategies for navigation of mobile robot. *Defence Technology*, 2019, 15(4), 582–606. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.04.011>
6. González, D., Pérez, J., Milanés, V., Nashashibi, F.: A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016, 17(4), 1135–1145. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2498841>
7. Kang, S., Choi, H., Kim, Y.: Formation flight and collision avoidance for multiple UAVs using concept of elastic weighting factor. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 2013, 14, 75–84. <https://doi.org/10.5139/IJASS.2013.14.1.75>
8. Cruz, G.C.S., & Encarnação, P.M.M. (2012). Obstacle Avoidance for Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Intelligent Robotic Systems*, 65(1-4), 203–217. <https://doi.org/10.1007/s10846-011-9587-z>
9. Lapierre, L., Zapata, R., & Lepinay, P. (2007). Combined Path-following and Obstacle Avoidance Control of a Wheeled Robot. *International Journal of Robotics Research*, 26(4), 361–375. <https://doi.org/10.1177/0278364907076790>
10. Carvalhosa, S., Pedro Aguiar, A., & Pascoal, A. (2010). Cooperative Motion Control of Multiple Autonomous Marine Vehicles: Collision Avoidance in Dynamic Environments. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(16), 395–400. <https://doi.org/10.3182/20100906-3-IT-2019.00069>
11. Ge, S.S., Lai, X.-C., & Al Mamun, A. (2007). Sensor-based path planning for nonholonomic mobile robots subject to dynamic constraints. *Robotics and Autonomous Systems*, 55(7), 513–526. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2007.02.003>
12. Skowron, M., Chmielowiec, W., Glowacka, K., Krupa, M., & Srebro, A. (2019). Sense and avoid for small unmanned aircraft systems: Research on methods and best practices. *Journal of Aerospace engineering*, 233(16), 6044–6062. <https://doi.org/10.1177/0954410019867802>
13. Orefice, M., Di Vito, V., & Torrano, G. (2015). Sense and Avoid: Systems and Methods. In *Encyclopedia of Aerospace Engineering*, J. Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470686652.eae1149>
14. Tsourveloudis, N.C., Doitsidis, L., & Valavanis, K.P. (2005). Autonomous Navigation of Unmanned Vehicles: A Fuzzy Logic Perspective. In *Cutting Edge Robotics*, IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/4654>
15. Lyu, Y., Pan, Q., Zhao, C., Yu, C., & Hu, J. (2016). A UAV Sense and Avoid System Design Method Based on Software Simulation. In *Proceedings of 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems* (pp. 572–579). <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2016.7502673>
16. Häusler, A.J., Saccon, A., Pedro Aguiar, A., Hauser, J., & Pascoal, A. (2012). Cooperative Motion Planning for Multiple Autonomous Marine Vehicles. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(27), 244–249. <https://doi.org/10.3182/20120919-3-IT-2046.00042>
17. Polvara, R., Sharma, S., Wan, J., Manning, A., & Sutton, R. (2018). Obstacle Avoidance Approaches for Autonomous Navigation of Unmanned Surface Vehicles. *Journal of Navigation*, 71(1), 241–256. <https://doi.org/10.1017/S0373463317000753>
18. Hoy, M., Matveev, A., & Savkin, A. (2015). Algorithms for Collision-Free Navigation of Mobile Robots in Complex Cluttered Environments: A Survey. *Robotica*, 33(3), 463–497. <https://doi.org/10.1017/S0263574714000289>



ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ БАЗИ ДАНИХ ВУЗЛА У КОРПОРАТИВНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.658:652.3

DOI

Микола Фісун,

доктор технічних наук, професор кафедри інженерії програмного забезпечення,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна,
E-mail: mykola.fisun@gmail.com, 0000-0003-1297-6230

Михайло Дворецький,

ст. викладач кафедри інженерії програмного забезпечення,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна,
E-mail: m.dvoretzkiy@gmail.com, 0000-0001-5913-6859

Світлана Дворецька,

ст. викладач кафедри інтелектуальних інформаційних систем,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна,
E-mail: svetag603@gmail.com, 0000-0001-5199-9430

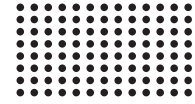
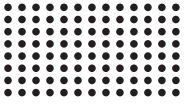
Євген Давиденко,

кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна,
E-mail: genik.davydenko@gmail.com, 0000-0002-0547-3689

Мета статті. Метою статті є вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації структури бази даних вузла у корпоративних інформаційних системах із використанням методу аналізу ієрархій для підвищення рівня доступності даних та ефективності використання розподілених та територіально розосереджених комп'ютерних систем.

Методи дослідження. Методи досліджень базуються на основних засадах теорії реляційних баз даних (у тому числі розподілених) та методах багатокритеріальної оптимізації. Зокрема, на: методах реляційної алгебри, теорії реляційної моделі даних, багатовимірній моделі даних – при побудові моделі SQL-запиту; методі аналізу ієрархій – при вирішенні задачі вибору найкращої альтернативи рівня представленості даних.

Основні результати дослідження. Введено поняття маркеру представленості даних, що відображає рівень необхідності представлення даних на вузлі РКІС. Для кожного елемента значення маркеру приймається за одне із множини значень {необхідно, бажано, не потрібно}, що визначає ступінь необхідності представлення даних того чи іншого типу робочого місця, ролі користувача або застосунку. Сформульовані критерії оптимальності структури БД дозволяють говорити про задачу багатокритеріальної оптимізації, вирішення якої виконується із використанням методу аналізу ієрархій. метод аналізу ієрархій (MAI), що є загальною методологією розв'язання широкого класу задач прийняття



рішень, дозволяє поєднати порівняно простий математичний апарат зі знаннями та досвідом ЛПР. Запропонована 4-х рівнева ієрархічна модель наступного вигляду: ціль – зацікавлені особи – критерії оптимальності – альтернативи. Серед особливостей використання методу слід відмітити: різний набір критеріїв оптимальності для різних зацікавлених осіб; квантування безперервної ознаки маркеру представленості даних із виділенням 5 альтернатив та автоматичне попереднє заповнення матриці попарних порівнянь на останньому рівні ієрархії.

Наукова новизна. Вперше уведено поняття маркеру представленості даних на вузлі РКІС для елементів вимірів моделі SQL-запиту та розроблена функція агрегації, що дозволяє визначити рівень необхідності атрибутів та кортежів відношення БД на вузлі РКІС на основі статистики SQL-запитів; отримав подальшого розвитку метод аналізу ієрархій за рахунок автоматичної ініціалізації матриці попарних порівнянь альтернатив згідно отриманих математичних моделей та нормалізації значень та представлення результату у вигляді вектору нечітких чисел із приведенням до чіткого значення.

Практична значимість. Розв'язання задачі багатокритеріального аналізу та вибір найкращої альтернативи дозволяє визначити оптимальний рівень значення маркеру представленості даних, що у свою чергу дозволяє класифікувати атрибути та кортежі відношень БД згідно їх представлення на вузлі РКІС. Проведені розрахунки для однієї з предметних областей впровадження результатів дослідження, результати яких наведені у відповідних таблицях дослідження, дозволяють говорити про підвищення ефективності БД вузла РКІС на 25% порівняно із представленням лише критичних даних, та на 11% порівняно із представленням всіх необхідних даних центральної БД відповідно.

Ключові слова: розподілена СКБД, корпоративна інформаційна система, багатокритеріальна оптимізація, реляційна модель даних, SQL-запит, метод аналізу ієрархій, матриця попарних порівнянь, вектор пріоритетів, маркер представленості даних.

Постановка проблеми. Широке використання інформаційних технологій багаторівневих, територіально розосереджених комп'ютерних інформаційних систем (КІС) на основі баз і сховищ даних, у тому числі із розподіленими базами даних, обумовлює необхідність розв'язання задачі автономності роботи користувачів, зниження навантаження на сервери БД та сервіси синхронізації даних шляхом оптимізації структури БД віддаленого вузла КІС. Комбінована стратегія розподілу даних є найбільш виправданою із точки зору можливості поєднання переваг стратегій з та без дублювання [1-3]. Але при її використанні, окрім задачі синхронізації дубльованої інформації, актуальною постає задача оптимального проектування структури БД з точки зору приналежності даних до категорії того чи іншого вузла мережі. Крім того, продуктивність системи напряму буде залежати від прийняття рішення щодо необхідності часткового або повного дублювання даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання оптимізації структури БД розглядається у роботах [4-10], але недостатній рівень уваги приділяється питанню підвищення продуктивності автоматизованих систем за рахунок оптимізації структури БД РКІС на базі статистики SQL-запитів. Так, у [4-6] при розгляді проектування автоматизованих систем управління та обробки

даних, організації сховищ даних та багатовимірних моделей не розглядаються питання використання комбінованої стратегії розподіленого представлення даних у КІС; а у роботах [7-10] автори розглядають питання підвищення продуктивності автоматизованих систем за рахунок використання матеріалізованих представлень, реструктуризації БД та денормалізації відношень. Однак аспект оптимальності структури окремого вузла РКІС залишається без уваги.

У роботах [3, 11-12], автором на базі реляційної моделі даних та елементів теорії множин було формалізовано поняття зрізу даних множини відношень БД та побудована модель SQL-запиту. Також введено поняття маркеру представленості даних, що відображає рівень необхідності представлення даних на вузлі РКІС. Для кожного елемента значення маркеру приймається за одне із множини значень {необхідно, бажано, не потрібно}, що визначає ступінь необхідності представлення даних того чи іншого типу АРМ, ролі користувача або застосунку. Для визначення оптимального значення рівня маркету представленості введено декілька критеріїв оптимальності та побудовано математичну модель кожного з них, які дозволяють розрахувати їх значення в залежності від представленості даних у віддаленому вузлі територіально розосередженої КС.

Отже, отримано багатокритеріальну задачу, що має бути вирішена для визначення оптимального рівня представленості даних. Слід відмітити, що критерії оптимальності, моделі яких були визначені, є незалежними та монотонними і представлені на множині дійсних чисел в інтервалі [0;1]. Класичні методи Паретто та Слейтора [13-14] можуть дати результати лише на першому етапі моделювання, але при розрахунку оптимального рівня маркеру представленості виявляються малоефективними через зниження рівня одних критеріїв оптимальності при одночасному підвищенні інших. Вирішення задачі також ускладнюється тим фактом, що простір рішень визначається на множині дійсних чисел, а отже множина рішень містить велику кількість альтернатив.

Постановка завдання. Прийняття рішення передбачає вибір одного з можливих варіантів дій, що прийнято називати альтернативами. У деяких випадках альтернатив може виявитись забагато для людини, що приймає рішення (ЛПР), і вимагає залучення додаткових заходів підтримки вибору рішення. До цього випадку потрапляє також і задача визначення оптимального рівня маркету представленості даних, сформульована у [3,12], конкретне значення якого можна вважати однією з множини можливих альтернатив. Кожне значення рівня маркету представленості даних характеризується показниками їх привабливості для ЛПР, а саме такими критеріями оптимальності, як незалежність від центрального вузла БД, співвідношення розміру локальної БД до центральної, та показник рівня необхідності синхронізації даних. Всі вони слугують критеріями оптимальності рішення.

При вирішенні задачі багатокритеріальної оптимізації серед основних підходів слід згадати отримання суперкритерію шляхом згортки критеріїв, методи звуження множини альтернатив, групування критеріїв, а також методи головного критерію, ідеальної точки та послідовних поступок [15]. Методи звуження мно-

жини альтернатив у більшості випадків базуються на визначенні множини рішень, ефективних за Паретто (Стейтором, Смейлом) [13-14], що не може бути застосовано для поточної задачі. Методи групування критеріїв використовуються при великій кількості останніх, що у випадку 3-х критеріїв не є актуальним. Недоліками методів згортки є складність аргументування вибору конкретного методу та обґрунтування вибору вагових коефіцієнтів. Метод головного критерію веде до спрощення задачі та необхідності залучення експертів, а метод ідеальної точки дає різні результати при використанні різних методів визначення відстані [15].

У свою чергу, метод аналізу ієрархій (МАІ), що є загальною методологією розв'язання широкого класу задач прийняття рішень, дозволяє поєднати порівняно простий математичний апарат зі знаннями та досвідом ЛПР. Основою даного методу є представлення процесу рішення у вигляді багаторівневої ієрархії, яка має відображати всі складові задачі, що вирішується [16-17]. Основу методу складають принципи декомпозиції, парних порівнянь та ієрархічної композиції. Основними етапами методу є побудова ієрархії, оцінювання значимості та пріоритетів, перевірка узгодженості пріоритетів та синтез рішення.

Виклад матеріалу дослідження. У роботах [3, 12, 18] автором було введено такі критерії оптимальності структури БД вузла РКІС, як незалежність від центрального вузла БД, співвідношення розміру локальної БД до центральної, та показник рівня необхідності синхронізації даних. Рівень незалежності, або доступності даних визначався за

$$F_{\text{доступність}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{\text{доступність}}(Q_n)}{n}, \quad (1)$$

де $Q_n \in Q_{\text{node}}, Q_{\text{node}} = \{Q | F_{\text{приналежності}}(\text{Node}, Q) = 1\}$,

$$F_{\text{доступність}}(\text{Node}, Q) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \forall R'' \exists R_{\text{schema}}^{\text{remote}}, R'' \in R_{\text{schema}}^{\text{remote}} \cap \forall Q^{\text{inner}} F_{\text{доступність}}(Q^{\text{inner}}) = 1 \\ 0, \text{ якщо } \exists R'' \nexists R_{\text{schema}}^{\text{remote}}, R'' \in R_{\text{schema}}^{\text{remote}} \cup \exists Q^{\text{inner}} F_{\text{доступність}}(Q^{\text{inner}}) = 0 \end{cases}$$

Значення критерію розміру БД вузла визначається як

$$F_{\text{size}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Size}R''_i}{\sum_{i=1}^n \text{Size}R_i^{\text{DBMS}}}, \quad (2)$$

де $\text{Size}R'' = \text{coef}_{\text{size}R} \times p \times \sum_{i=1}^{n'} \text{Size}(\text{type}_i)$,

$$\text{coef}_{\text{size}R} = \frac{\text{Size}R_i^{\text{DBMS}} - \text{Size}R_0^{\text{DBMS}}}{p \times \sum_{i=1}^n \text{Size}(\text{type}_i)}$$

Показник рівня необхідності синхронізації даних розраховується, як

$$F_{synchro} = \frac{P_{node}^{modif}}{P_{node}}, \quad (3)$$

де P_{node}^{modif} – кардинальність відношення, що включає запити віддаленого вузла (згідно рішення про представленість), до яких входять значення атрибутів кортежів (комірки), що також входять до множини

R_{node}^{modif} , а P_{node} – кардинальність всіх запитів, атрибути та кортежі яких представлені у віддаленому вузлі.

При складанні ієрархії використано відношення між елементами сусідніх рівнів: ціль – зацікавлені особи – критерії – альтернативи. При відсутності можливості проведення аналізу із залученням декількох ЛПР, рівень ієрархії може бути зменшено до трьох: ціль – критерії – альтернативи (рис. 1).

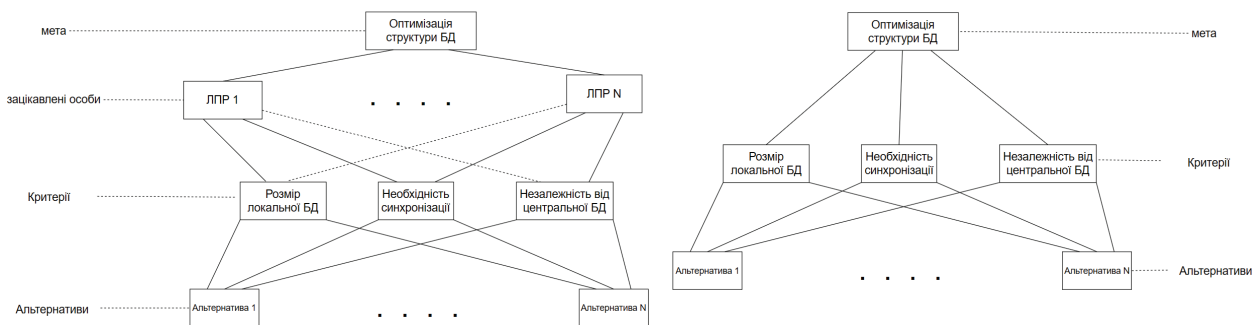


Рис. 1 – Загальне представлення ієрархії моделі для 4-х та 3-х рівнів відповідно

Значення маркеру представленості даних (альтернатива) є дійсним числом на інтервалі [-1, 1]. А наявність великої кількості альтернатив на 4-му рівні ієрархії веде до збільшення розмірності матриць переваг за критеріями та ускладнює вирішення задачі. Запропоновано спростити задачу, виконавши зменшення кількості аль-

тернатив до 5: «низький» (Н) – «-1», «нижче середнього» (НС) – «-0,5», «середній» (С) – «0», «вище середнього» (ВС) – «0,5», та «високий» (В) – «1». Рівень «зацікавлені особи» представлено елементами «Власник», «Адміністратор БД», «Розробник БД» та «Оператор КІС». Отримана ієрархічна модель наводиться на рис. 2.

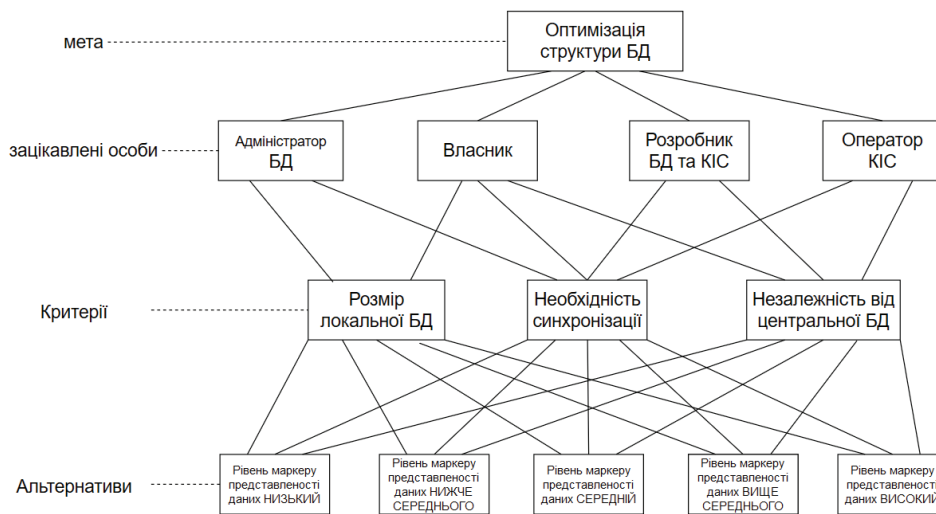


Рис. 2 – Ієрархічна модель задачі оптимізації структури вузла PKIC

Звернімо увагу, що перелік критеріїв оптимальності моделі відрізняється для зацікавленої особи проведенного аналізу. Так, для власника об'єкту автоматизації важливі всі три критерія (розмір БД, необхідність синхронізації та незалежність від центральної БД), оскільки від них залежить як якість роботи КІС, так і вартість обладнання. Для адміністратора БД важливими є критерії розміру БД та необхідності організації синхронізації даних. У свою чергу, для розробника БД та оператора КІС критерій розміру БД не є критичним. Зрозуміло, що відносна вага кожного з критеріїв для різних зацікавлених осіб також буде відрізнятися.

Використовуючи шкалу відносної важливості критеріїв [15] (табл. 1) та із залученням людини, що приймає рішення (ЛПР), якою на даному етапі виступає власник об'єкту автоматизації, виконуємо побудову матриці попарних порівнянь для зацікавлених осіб.

Таблиця 1 – Шкала відносної важливості критеріїв

a_j	Відносна вага критерію або альтернативи
1	Рівна можливість порівнюваних критеріїв (альтернатив)
3	Помірна (слабка) перевага одного над іншим
5	Сильна (істотна) перевага
7	Очевидна перевага
9	Абсолютна перевага
2, 4, 6, 8	Проміжні значення

Так, наприклад, для випадку очевидної переваги власнику над оператором КІС, сильної переваги над роз-

робником БД та помірної переваги над адміністратором БД; слабкої переваги адміністратора над розробником БД та помірної переваги над оператором КІС; а також помірної переваги розробника БД над оператором, маємо матрицю переваг наступного вигляду (табл. 2).

На третьому рівні ієрархії складаються відповідні матриці попарних порівнянь за критеріями оптимальності по кожній зацікавленій особі. Тут у ролі ЛПР виступає зацікавлена особа, за якою заповнюється матриця. Так, для зацікавленої особи «власник», у випадку очевидної переваги критерію незалежності над розміром БД та сильної переваги над необхідністю синхронізації, а також помірної переваги необхідності синхронізації над розміром БД, маємо наступну матрицю переваг критеріїв оптимальності (табл. 3).

Виконавши розрахунок середньої ваги за формулою Баклі [19], що базується на побудові середнього геометричного

$$W_j = \frac{r_j}{\sum_{i=1}^n r_i}, \text{ де } r_j = \left(\prod_{i=1}^m \alpha_{i,j} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

отримуємо для матриці переваг ЛПР «власник» наступний вектор відносної ваги критеріїв оптимальності моделі (5):

$$W^{крит} = \begin{bmatrix} 0,08 \\ 0,73 \\ 0,19 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Для перевірки відсутності конфліктів між елементами матриці, виконується розрахунок індексу

Таблиця 2 – Матриця переваг зацікавлених осіб

	Власник	Адмін. БД	Розробник БД та КІС	Оператор
КІС				
Власник	1	3	5	7
Адмін. БД	1/3	1	3	5
Розробник БД та КІС	1/5	1/3	1	3
Оператор КІС	1/7	1/5	1/3	1

Таблиця 3 – Матриця переваг критеріїв оптимальності для зацікавленої особи «Власник»

	Розмір БД	Незалежність	Необхідність синхронізації
Розмір БД	1	1/7	1/3
Незалежність	7	1	5
Необхідність синхронізації	3	1/5	1

узгодженості. Для даних таблиці 3 $U = 3,2\%$, що свідчить про допустимий рівень узгодженості (у випадку перевищення значення 10% виникає необхідність корегування значень таблиці через повторне опитування ЛПР).

Наступним кроком у класичному методі аналізу ієрархій є заповнення матриць попарних порівнянь альтернатив окремо по кожному критерію оптимальності [16], аналогічно до табл. 2 та 3. У нашому випадку,

наявність математичних моделей розрахунку значень критеріїв оптимальності, сформульованих у (1-3), дозволяє виконати розрахунок та початкову ініціалізацію даних матриць на базі числових значень маркеру представленості даних для кожної альтернативи. Далі заповнена матриця подається на розгляд ЛПР для затвердження. Так, наприклад, розмір БД локального вузла в залежності від однієї з п'яти альтернатив може змінюватись наступним чином (табл. 4).

Таблиця 4 – Залежність значення розміру БД від обраної альтернативи

Рівень маркеру представленості даних	Низький	Нижче середнього	Середній	Вище середнього	Високий
Розмір локальної БД	0,02	0,24	0,47	0,55	0,75

Виходячи із наведених даних, розмір БД при низькому (min) та високому (max) рівні маркеру представленості даних відрізняється у $\frac{0,75}{0,02} = 37,5$ разів.

Керуючись принципами парних порівнянь та аксіомою гомогенності, яка говорить про те, що на кожному рівні ієрархії порівнювані елементи не мають сильно відрізнятися один від одного (згідно табл. 1 не більше, ніж у 9 разів), виконуємо нормування значень, наведених у табл. 4, використавши дещо модифіковану формулу природньої нормалізації:

$$W_i^{norm} = \frac{(W_i - \min_i W_i)}{(\max_i W_i - \min_i W_i)} \times (k - 1) + 1, \quad (6)$$

де W_i – значення критерію оптимальності для i -ї альтернативи, а $k = 9$, згідно табл. 1.

Пронормовані згідно (6) значення розміру локальної БД (табл. 4) представлені у таблиці 5.

Виконавши округлення до цілого за математичними правилами, будемо матрицю попарних порівнянь альтернатив для критерію розміру локальної БД (табл. 6).

Таблиця 5 – Пронормовані значення розміру БД від обраної альтернативи

Рівень маркеру представленості даних	Низький	Нижче середнього	Середній	Вище середнього	Високий
Пронормоване значення розміру локальної БД	1,00	3,41	5,93	6,81	9,00

Таблиця 6 – Матриця переваг альтернатив по критерію розмір БД

Розмір локальної БД	Низький	Нижче середнього	Середній	Вище середнього	Високий
Низький	1	3	6	7	9
Нижче середнього	0,33333	1	2	2	3
Середній	0,16667	0,5	1	1	2
Вище середнього	0,14286	0,5	1	1	1
Високий	0,11111	0,33333	0,5	1	1

Аналогічно до розрахунку матриці відносної ваги критеріїв оптимальності моделі, згідно до (4) виконуємо розрахунок матриці відносної ваги альтернатив за критерієм розміру локальної БД. Отриманий результат для даних табл. 6 матиме наступний вигляд:

$$W^{розмБД} = \begin{bmatrix} 0,570 \\ 0,190 \\ 0,095 \\ 0,081 \\ 0,063 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Далі, у табл. 7 наведено значення критеріїв необхідності синхронізації даних та рівня незалежності для кожної з п'яти альтернатив, отримані із багатовимірної БД користувачьких запитів.

Відповідно до (6) виконуємо нормування та складаємо матрицю попарних порівнянь альтернатив для критеріїв незалежності (табл. 8) та необхідності синхро-

нізації (табл. 9). При розрахунку коефіцієнтів для альтернатив по критерію незалежності, враховуємо максимізацію критерію, як мету, і, відповідно (6) набуває наступного вигляду:

$$W_i^{norm} = \frac{(W_i^{\sim} - \min_i W_i^{\sim})}{(\max_i W_i^{\sim} - \min_i W_i^{\sim})} \times (k - 1) + 1, \\ \text{де } W_i^{\sim} = (1 - W_i)$$

Згідно до (4) виконуємо розрахунок матриці відносної ваги альтернатив за критеріями незалежності та необхідності синхронізації. Отриманий результат для даних табл. 8 та 9 представлений у (8) та (9) відповідно.

$$W^{незалежн} = \begin{bmatrix} 0,036 \\ 0,082 \\ 0,164 \\ 0,328 \\ 0,328 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Таблиця 7 – Залежність значення критеріїв рівня незалежності та необхідності у синхронізації від обраної альтернативи

Рівень маркеру представленості даних	Низький	Нижче середнього	Середній	Вище середнього	Високий
Незалежність	0,35	0,71	0,92	0,96	0,97
Необхідність синхронізації	0,15	0,18	0,13	0,10	0,07

Таблиця 8 – Матриця переваг альтернатив по критерію незалежності від центрального вузла БД

Незалежність	Низький	Нижче середнього	Середній	Вище середнього	Високий
Низький	1	0,5	0,2	0,11111	0,11111
Нижче середнього	2	1	0,5	0,25	0,25
Середній	5	2	1	0,5	0,5
Вище середнього	9	4	2	1	1
Високий	9	4	2	1	1

Таблиця 9 – Матриця переваг альтернатив по критерію необхідності синхронізації

Необхідність синхронізації	Низький	Нижче середнього	Середній	Вище середнього	Високий
Низький	1	1	1	0,5	0,14286
Нижче середнього	1	1	0,5	0,33333	0,11111
Середній	1	2	1	0,5	0,2
Вище середнього	2	3	2	1	0,33333
Високий	7	9	5	3	1

$$W^{сінхр} = \begin{bmatrix} 0,082 \\ 0,063 \\ 0,101 \\ 0,184 \\ 0,550 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Глобальні пріоритети для альтернатив визначаємо за формулою

$$W_i = W_1^{крит} \times W_i^{розмБД} + W_2^{крит} \times W_i^{незалежн} + W_3^{крит} \times W_i^{сінхр} \quad (10)$$

Отже, виходячи із (5), (7), (8) та (10), і відповідно до (10) маємо значення глобальних пріоритетів альтернатив, наведені у табл. 10 та на (11).

Таблиця 10 – Розрахунок глобальних пріоритетів альтернатив для зацікавленої особи «Власник»

Альтернативи (рівень маркету представленості)	Критерії			Глобальні пріоритети
	Розмір БД	Незалежність	Необхідність синхронізації	
	0,08	0,73	0,19	
Низький	0,5701	0,0365	0,0824	0,0883
Нижче середнього	0,1900	0,0821	0,0629	0,0872
Середній	0,0950	0,1642	0,1012	0,1468
Вище середнього	0,0814	0,3285	0,1843	0,2813
Високий	0,0633	0,3285	0,5497	0,3487

$$W_{Власник}^{глоб} = \begin{bmatrix} 0,09 \\ 0,09 \\ 0,15 \\ 0,30 \\ 0,37 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Склавши матриці попарних порівнянь критеріїв оптимальності для інших зацікавлених осіб (табл. 11–13), згідно даних математичних моделей (1–3) та відповідно до (6) виконуємо розрахунки векторів глобальних пріоритетів за вказаними особами (12–14).

$$W_{АдмінБД}^{глоб} = \begin{bmatrix} 0,41 \\ 0,15 \\ 0,10 \\ 0,12 \\ 0,23 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$W_{РозробникБД}^{глоб} = \begin{bmatrix} 0,04 \\ 0,08 \\ 0,17 \\ 0,33 \\ 0,38 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Таблиця 11 – Матриця переваг критеріїв оптимальності для зацікавленої особи «Адміністратор БД»

	Розмір БД	Необхідність синхронізації
Розмір БД	1	2
Необхідність синхронізації	1/2	1

Таблиця 12 – Матриця переваг критеріїв оптимальності для зацікавленої особи «Розробник БД»

	Незалежність	Необхідність синхронізації
Незалежність	1	7
Необхідність синхронізації	1/7	1

Таблиця 13 – Матриця переваг критеріїв оптимальності для зацікавленої особи «Оператор КІС»

	Незалежність	Необхідність синхронізації
Незалежність	1	3
Необхідність синхронізації	1/3	1

$$W_{\text{ОператорКІС}}^{\text{глоб}} = \begin{bmatrix} 0,05 \\ 0,08 \\ 0,16 \\ 0,31 \\ 0,40 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Використавши отримані результати векторів глобальних пріоритетів за зацікавленими особами (11-14) та матрицю переваг зацікавлених осіб (табл. 2), аналогічно до (10) розраховуємо вектор глобальних пріоритетів альтернатив.

Таблиця 14 – Розрахунок глобальних пріоритетів альтернатив

	Власник	Оператор КІС	Адмін.БД	Розробник БД	Глобальні пріоритети
	0,563	0,055	0,263	0,117	
Низький	0,0900	0,0500	0,4100	0,0400	0,17
Нижче середнього	0,0900	0,0800	0,1500	0,0800	0,10
Середній	0,1500	0,1600	0,1000	0,1700	0,14
Вище середнього	0,3000	0,3100	0,1200	0,3300	0,26
Високий	0,3700	0,4000	0,2300	0,3800	0,34

Висновки. Кожен значення рівня маркету представленості даних характеризується показниками їх привабливості для ЛПР, а саме таким критеріями оптимальності, як незалежність від центрального вузла БД, розмір локальної БД, та показник рівня необхідності синхронізації даних.

Задача є добре структурованою, оскільки всі залежності можуть бути представлені у чисельному вигляді, а критерії незалежні. Однак кращі поєднання критеріїв не можуть бути визначені на основі об'єктивної інформації, наявної в розпорядженні дослідника, а наявність декількох критеріїв призводить до того, що основою для вироблення рішення мають стати суб'єктивні переваги ЛПР. Рішення хоч і буде суб'єктивним, але в процесі вирішення будуть використані об'єктивні моделі на базі багатокрите-

ріальних методів, що дозволяє ЛПР уникнути поверхневих рішень та схильності до спрощення задачі.

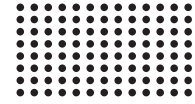
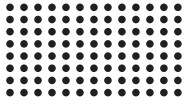
Вирішення багатокритеріальної задачі та знаходження оптимального рівня представленості даних на віддаленому вузлі дозволяє підвищити рівень доступності даних та ефективності використання розподілених та територіально розосереджених комп'ютерних систем. Ефективністю є співвідношення результату та ресурсів, тому враховуючи вектор відносної ваги критеріїв оптимальності моделі (5), розраховуємо ефективність, як

$$Eff = \frac{F_{\text{доступність}} \times W_1^{\text{крит}}}{F_{\text{size}} \times W_0^{\text{крит}} + F_{\text{synchro}} \times W_2^{\text{крит}}} \quad (15)$$

Порівняння отриманих результатів для БД вузла КІС предметної області наведено у табл. 15.

Таблиця 15 – Порівняння ефективності структури БД при різних стратегіях та рівнях представленості даних на вузлі РКІС

		Викор-ня центрального вузла	Предст-ня лише критичних даних	Предст-ня всіх необхідних даних	Повне дублювання даних	Оптимальний рівень маркера предст-ті
Незалежність	0,730	0	0,35	0,97	1	0,97
Розмір БД	0,081	0	0,02	0,75	1	0,63
Необхідність синхронізації	0,188	0	0,15	0,07	1	0,08
Ефективність БД вузла		–	8,5589	9,5892	2,7126	10,7257
Підвищення ефективності, %		–	25,32%	11,85%	295,41%	–



Отже, результати дослідження дозволяють підвищити ефективність використання певного вузла РКІС розглянутою предметною областю на 25% порівняно із представленням лише критичних даних, та на 11% порівняно із представленням всіх необхідних даних центральної БД відповідно. В якості перспектив подальшого розвитку роз-

глядається можливість представлення отриманого вектору глобальних пріоритетів у вигляді набору нечітких множин однієї змінної із кусочно-лінійними функціями приналежності для подальшої дефазифікації отриманих результатів та отримання більш точного числового значення оптимального рівня маркеру представленості даних на вузлі РКІС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Иванов А.Ю. Мобильные распределенные базы данных втоматизированных информационно-управляющих систем МЧС России : монография / подред. В.С. Артамонова. СПб. : Санкт-Петербургский ун-т ГПС МЧС России, 2008. 152 с.
2. Новиков Б.А. Основы технологий баз данных : учеб. пособие / Б.А. Новиков, Е.А. Горшкова; под ред. Е.В. Погова. – М. : ДМК Пресс, 2019. – 240 с.
3. Mykhailo Dvoretzkyi, Svitlana Dvoretzka, Yuriy Nezdoliy, Svitlana Borovlova. Data Utility Assessment while Optimizing the Structure and Minimizing the Volume of a Distributed Database Node. Proceedings of the 1st International Workshop on Information-Communication Technologies & Embedded Systems (ICTES 2019) Mykolaiv, Ukraine, November 14–15, 2019. P. 128–137.
4. Пасічник В.В. Організація баз даних та знань/ Пасічник В.В., Резніченко В.А. – К. : Видавнича група ВНУ, 2006. – 384 с.
5. Малахов Є.В. Основи проектування баз даних : навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / Є.В. Малахов. – О. : Наука і техніка, 2006. – 156 с.
6. Пасічник В.В. Сховища даних: підручник/ Пасічник В.В. Шаховська Н.Б. – Львів : Магнолія 2006, 2008. – 492 с.
7. Кунгурцев А.Б., Возовиков Ю.Н. Поиск закономерностей в распределении запросов для управления материализованными представлениями // Тр. Одесск. политехн. ун-та. Одесса, 2008. – 2(30). – С. 135–140.
8. Кунгурцев А.Б. Модель реструктуризации реляционной базы данных путем денормализации схемы отношений / А.Б. Кунгурцев, С.Л. Зиноватная // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса : Вид-во Одесский национальный политехнический университет. – 2006. – 2(26). – С. 105–111.
9. Филатов В.А. Методы и средства проектирования информационных систем и распределенных баз данных / В.А. Филатов, Р.В. Семенец // Вестник Херсонского национального технического университета No 4(27). – 2007. – С. 203–207.
10. Лаздынь С.В. Оптимизация распределенных корпоративных информационных сетей с использованием генетических алгоритмов и объектного моделирования / С.В. Лаздынь, С.Ю. Землянская // Наукові праці ДонНТУ. – 2009. – No 147. – С. 83–95.
11. Дворецкий М. Л. Проектування структури розподіленої БД на базі парсингу SQL-запитів / М.Л. Дворецкий, С.Ю. Боровльова, Є.О. Давиденко // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія»]. Серія: Комп'ютерні технології. – 2016. – Т. 287. – Вип. 275. – С. 53–61.
12. Дворецкий М. Л. Інформаційна технологія визначення корисних даних при оптимізації структури та мінімізації обсягів вузла розподіленої бд. / М. Л. Дворецкий, С. В. Дворецька, Є. О. Давиденко // Вісник черкаського державного технологічного університету. – 4/2019. – Черкаси : Черкаський державний технологічний університет, 2019. – С. 26–35.
13. Коваленко І.І. Парето-оптимальний вибір при формуванні портфеля замовлень ІТ-проектів / І. І. Коваленко, Є. О. Давиденко // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 161. – Т. 173. Комп'ютерні технології. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. П. Могили, 2011. – С. 44–48.
14. Подиновский В.В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.
15. А.В. Лотов, И.И. Поспелова. Многокритериальные задачи принятия решений : учебное пособие. – М. : МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
16. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 144 с.
17. Ногин В.Д. Методы оптимальных решений [Учебное пособие]. – СПб. : филиал ГУ-ВШЭ, Издательство «Юстас», 2006. – 108 с.
18. Fisun M., Dvoretzkyi M., Shved A. and Davydenko Ye. “Query parsing in order to optimize distributed DB structure”, Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Bucharest, Romania, vol. 1, pp. 172–178, September 2017. DOI: 10.1109/idaacs.2017.8095071
19. Buckley J.J. Fuzzy hierarchical analysis // Fuzzy sets and systems. 1985. Vol. 17, No 3. P. 233–247.



USING THE METHOD OF ANALYZING HIERARCHIES TO OPTIMIZE THE DATABASE STRUCTURE OF THE NODE IN CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

Mykola Fisun,

Dr. Sc., Professor, Professor, Associate Professor of IPS Department,
Mykolaiv National University named by P. Mohyla, Mykolaiv, Ukraine,
e-mail: mykola.fisun@gmail.com, 0000-0003-1297-6230

Mykhailo Dvoretzkyi,

lecturer of IPS department,
Mykolaiv National University named by P. Mohyla, Mykolaiv, Ukraine,
e-mail: m.dvoretzkiy@gmail.com, 0000-0001-5913-6859

Svitlana Dvoretzka,

Lecturer of IPS Department, Mykolaiv National University named by P. Mohyla, Mykolaiv, Ukraine,
e-mail: svetag603@gmail.com, 0000-0001-5199-9430

Yevhen Davydenko,

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of IPS Department,
Mykolaiv National University named by P. Mohyla, Mykolaiv, Ukraine,
e-mail: genik.davydenko@gmail.com, 0000-0002-0547-3689

Abstract. The goal of the article. The aim of the article is to solve the problem of multicriteria optimization of the structure of a node database in corporate information systems using the method of hierarchy analysis to increase the level of data availability and the efficiency of using distributed and geographically dispersed computer systems.

Research methods. Research methods are based on the principles of the relational databases theory (including distributed ones) and methods of multicriteria optimization. In particular, on: methods of relational algebra, theory of a relational data model, multidimensional data model – when building a model of an SQL query; the method of analyzing hierarchies – when solving the problem of choosing the best alternative to the level of data representation.

Main results of research. The concept of a data representation marker is introduced, reflecting the level of need for data presentation at the DCIS node. For each element, the value of the marker is taken as one of the set of values {necessary, preferably, not necessary}. It determines the degree to which it is necessary to present data for a particular type of workplace, user role or application. The formulated optimality criteria for the structure of the database allow to speak about the problem of multi-criteria optimization. Its' solution is carried out using the analytic hierarchy process. The analytic hierarchy process (AHP), which is a general methodology for solving a wide class of decision-making problems, allows to combine a relatively simple mathematical apparatus with the knowledge and experience of decision makers. A 4-level hierarchical model of the following type is proposed: goal – stakeholders – criteria of optimality – alternatives. Among the features of using the method, it should be noted: a different set of optimality criteria for various stakeholders; splitting into intervals the data representation marker with making 5 alternatives and automatic pre-filling of the matrix of pairwise comparisons at the last level of the hierarchy.

The scientific novelty. For the first time, the concept of a marker of data representation at the DCIS node was introduced for the dimension elements of the SQL query model. An aggregation function was developed, which allows determining the level of need for attributes and tuples of the database relation on the DCIS node based on the statistics of SQL queries. The analytic hierarchy process was further developed due to the automatic initialization of the matrix of alternatives pairwise comparisons according to the obtained mathematical models and the normalization of values and the presentation of the result in the form of a vector of fuzzy numbers.

The practical significance. Solving the problem of multicriteria analysis and choosing the best alternative allows to determine the optimal level of the value of the data representation marker. In turn, it allows to classify the attributes and tuples of DB relations according to their presentation on the DCIS node. The calculations performed for one of the subject areas of



the research results application, were given in the corresponding research tables. They allow to speak of an increase in the efficiency of the DB of the DCIS node by 25% compared to the presentation of only critical data, and by 11% compared to the presentation of all necessary data of DB respectively.

Keywords: *distributed DBMS, computer information system, multicriteria optimization, relational data model, SQL query, hierarchy analysis method, matrix of pairwise comparisons, priority vector, data representation marker.*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ УЗЛА В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Николай Фисун,

доктор технических наук, профессор кафедры инженерии программного обеспечения,
Черноморский национальный университет имени Перта Могилы, г. Николаев, Украина,
e-mail: mykola.fisun@gmail.com, 0000-0003-1297-6230

Михаил Дворецкий,

ст. преподаватель кафедры инженерии программного обеспечения,
Черноморский национальный университет имени Перта Могилы, г. Николаев, Украина,
e-mail: m.dvoretskiy@gmail.com, 0000-0001-5913-6859

Светлана Дворецкая,

ст. преподаватель кафедры инженерии программного обеспечения,
Черноморский национальный университет имени Перта Могилы, г. Николаев, Украина,
e-mail: svetag603@gmail.com, 0000-0001-5199-9430

Евгений Давиденко,

кандидат технических наук, доцент кафедры инженерии программного обеспечения,
Черноморский национальный университет имени Перта Могилы, г. Николаев, Украина,
e-mail: genik.davydenko@gmail.com, 0000-0002-0547-3689

Цель статьи. Целью статьи является решение задачи многокритериальной оптимизации структуры базы данных узла в корпоративных информационных системах с использованием метода анализа иерархий для повышения уровня доступности данных и эффективности использования распределенных и территориально рассредоточенных компьютерных систем.

Методы исследования. Методы исследований базируются на основных принципах теории реляционных баз данных (в том числе распределенных) и методах многокритериальной оптимизации. В частности, на: методах реляционной алгебры, теории реляционной модели данных, многомерной модели данных – при построении модели SQL-запроса; методе анализа иерархий – при решении задачи выбора лучшей альтернативы уровня представленности данных.

Основные результаты исследования. Введено понятие маркера представленности данных, отражающее уровень необходимости представления данных на узле РКИС. Для каждого элемента значение маркера принимается за одно из множества значений {необходимо, желательно, не нужно}, что определяет степень необходимости представления данных того или иного типа рабочего места, роли пользователя или приложения. Сформулированные критерии оптимальности структуры БД позволяют говорить о задаче многокритериальной оптимизации, решение которой выполняется с использованием метода анализа иерархий. метод анализа иерархий (МАИ), что является общей методологией решения широкого класса задач принятия решений, позволяет совместить сравнительно простой математический аппарат со знаниями и опытом ЛПР. Предложена 4-х уровневая иерархическая модель следующего вида: цель – заинтересованные лица – критерии оптимальности – альтернативы. Среди особенностей использования метода следует отметить: разный набор критериев оптимальности для различных заинтересованных лиц; разбиение

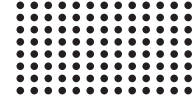


на интервалы непрерывного признака маркера представленности данных с выделением 5 альтернатив и автоматическое предварительное заполнение матрицы попарных сравнений на последнем уровне иерархии.

Научная новизна. Впервые введено понятие маркера представленности данных на узле РКИС для элементов измерений модели SQL-запроса и разработана функция агрегации, что позволяет определить уровень необходимости атрибутов и кортежей отношения БД на узле РКИС на основе статистики SQL-запросов; получил дальнейшее развитие метод анализа иерархий за счет автоматической инициализации матрицы попарных сравнений альтернатив согласно полученных математических моделей и нормализации значений и представление результата в виде вектора нечетких чисел с приведением к четкому значению.

Практическая значимость. Решение задачи многокритериального анализа и выбор наилучшей альтернативы позволяет определить оптимальный уровень значения маркера представленности данных, в свою очередь позволяет классифицировать атрибуты и кортежи отношений БД согласно их представлению на узле РКИС. Проведенные расчеты для одной из предметных областей применения результатов исследования, результаты которых приведены в соответствующих таблицах исследования, позволяют говорить о повышении эффективности БД узла РКИС на 25% по сравнению с представлением только критических данных, и на 11% по сравнению с представлением всех необходимых данных центральной БД соответственно.

Ключевые слова: *распределенная СУБД, корпоративная информационная система, многокритериальная оптимизация, реляционная модель данных, SQL-запрос, метод анализа иерархий, матрица попарных сравнений, вектор приоритетов, маркер представленности данных.*



MODELING AND CALCULATION OF PERFORMANCE INDICATORS OF COMPUTER INFORMATION SYSTEMS

UDC 004.7

DOI

Stenin Alexander Afrikanovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Cybernetics,
Kyiv Polytechnic Institute. Igor Sikorsky, Kyiv, Ukraine
av. Pobedy, 37, Kyiv, Ukraine., 03056
E-mail: alexander.stenin@yandex.ua

Victor Pasko,

Ph.D. of Engineering, Associate Professor, Department of Technical Cybernetics,
Kyiv Polytechnic Institute. Igor Sikorsky, Kyiv, Ukraine
av. Pobedy, 37, Kyiv, Ukraine., 03056
E-mail: vppasko@ukr.net

Andrey Gubskiy,

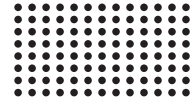
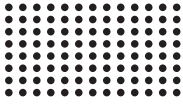
Ph.D. of Engineering, Senior Researcher, Department of Technical Cybernetics,
Kyiv Polytechnic Institute. Igor Sikorsky, Kyiv, Ukraine
av. Pobedy, 37, Kyiv, Ukraine., 03056
E-mail: andrew.gubskiy@gmail.com

Irina Drozdovych,

Ph.D. of Engineering, Senior Researcher, Institute of Telecommunications and Global Information Space of the
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Chokolovsky Boulevard, 13, Kyiv, Ukraine, 03186
E-mail: irina.drozdowicz@gmail.com

Abstract. The efficiency of modern companies depends largely on the efficiency of computer information systems (CIS). The efficiency of the CIS can be analyzed by modeling and calculating their performance indicators. For the analysis and modeling of the CIS of the "client-server" class, the most widely used mathematical apparatus of Petri nets and the theory of queuing. Representation of the CIS in the form of a Petri net makes it possible to obtain information about the structure and dynamic behavior of the CIS. The most effective in the case of modeling and analysis of corporate information systems with a service-oriented architecture (SOA) are colored Petri nets (CPN). CPN is a graph-oriented language for designing, describing, modeling, and managing distributed and parallel CIS. Unlike a classic Petri nets, data typing based on the color set concept plays an important role in CPN.

In addition to Petri nets, the theory of Queuing systems (QT) is an effective tool for analyzing CIS. Analysis of QT models in the CIS allows calculating the performance indicators of the CIS in order to determine the optimal mode of their operation.



In addition, the design process CIS models of the individual fragments allows adequately choose the appropriate parameters of equipment and resources of CIS, to forecast the state of the CIS. An attempt on intuitively choose the option of integrating heterogeneous products and parameters of the designed system can lead to a significant loss of productivity at the operational stage and high costs for updating the information system. The use of QT for the analysis and modeling of CIS, in particular with a service-oriented architecture, allows, in addition to the simulation tool, to use the Markov chain apparatus for research.

When modeling and analyzing CIS, it is impossible to limit the creation of a single model, which is due to the complexity of the configuration of interacting components. Hence, accounting and analysis of CIS characteristics within a single model is very complex and often impractical. In this regard, the actual task is to build several complementary models of the CIS operation.

Two models of operation of the main component of the CIS Web server proposed in this paper, which based on the apparatus of Petri nets and the theory of Queuing systems. In General, modeling and analysis of CIS based on CPN is very complex and time-consuming, and therefore specialized software products are used. In particular, the specialized CPN TOOLS package. In contrast to Petri nets, TQS allows, in addition to direct simulation of CIS under certain assumptions about incoming request and service flows, to obtain final formulas for CIS performance indicators in analytical form.

For the simplest flows of receipt and service of requests, the calculation of performance indicators of the CIS can perform on the discrete and continuous Markov chains. The example of calculating the performance indicators of an information system shows that it is possible to regulate certain performance indicators of the CIS within certain limits, mainly due to the number of communication channels and the time for processing documents. At the same time, additional communication channels can be not only physical channels, but also virtual dynamic communication channels.

Thus, the Petri and QT models proposed in this paper for modeling and calculating CIS performance indicators are quite universal in terms of the characteristics of the flows of receipt and service of requests in the CIS.

Keywords: *computer information systems, colored Petri nets, apparatus of Markov chains, queuing theory, state graph, calculation of word load*

Introduction. The efficiency of modern companies depends largely on the efficiency of computer information systems (CIS). The efficiency of the CIS can analyze by modeling and calculating their performance indicators. For the analysis and modeling of the CIS of the "client-server" class, the most widely used mathematical apparatus of Petri nets [1,2] and the theory of queuing [3].

It known [2] that Petri nets are very convenient for modeling systems consisting of many interacting components. From here, Petri nets make it possible to model CIS in the form of a mathematical representation based on kit theory, which is an extension of set theory. Representation of the CIS in the form of a Petri net makes it possible to obtain information about the structure and dynamic behavior of the CIS [2].

It should note that the most effective in the case of modeling and analysis of corporate information systems with a service-oriented architecture (SOA) are colored Petri nets (CPN) [4].

CPN is a graph-oriented language for designing, describing, modeling, and managing distributed and parallel CIS.

Unlike a classic Petri nets, data typing based on the color set concept plays an important role in CPN. To describe the dynamic properties of CPN introduces the notion of a network layout with the use of so-called tokens are placed in certain positions. To describe dynamic properties, the CPN introduces the concept of network markup using so-called tokens placed in certain positions. The position has a certain value to be determined from a variety of colors. The color of the position, in turn, determines the type of tokens that are there. CPN is an asynchronous system in which the tokens moved according to the positions of the through transitions. A transition moves a token from an input position to an output position if at least one token is present in all input positions for this transition and a logical condition that restricts the transition (trigger function) is met.

In addition to Petri nets, Queueing theory (QT) is an effective tool for analyzing CIS. Analysis of QT models in the CIS allows calculating the performance indicators of the CIS in order to determine the optimal mode of their operation. In addition, the design process CIS models of the individual fragments allows adequately choose the appropriate param-

eters of equipment and resources of CIS, to forecast the state of the CIS. This approach is due to the high complexity of modern CIS, it is usually very difficult for the designer to analyze all the performance indicators of the developed CIS at once. An attempt to intuitively choose the option of integrating heterogeneous products and parameters of the designed system can lead to a significant loss of productivity at the operational stage and high costs for updating the information system [3,5].

The use of QT for the analysis and modeling of CIS, in particular with a service-oriented architecture [6], allows, in addition to the simulation tool, to use the Markov chain apparatus for research.

Problem statement. When modeling and analyzing CIS, it is impossible to limit the creation of a single model, which is due to the complexity of the configuration of interacting components [6]. Hence, accounting and analysis of CIS characteristics within a single model is very complex and impractical [7]. In this regard, the actual task is to build several complementary models of the CIS operation.

Two models of operation of the main component of the CIS Web server proposed below, which are based on the apparatus of Petri nets and the theory of Queuing systems.

Modeling and calculation of CIS performance indicators. For heterogeneous applications in the framework of the CPN theory, we consider the following special case of the Web server model.

The model contains three sources of requests from client terminal users, an application server, and a database server. Each source generates the following stream of requests:

- the requests to get static site content (images, static HTML pages, style tables, etc.);
- the requests to get information from the database;
- the requests to save information in the database.

Simulation model CIS in the form of stochastic CPN is shown in fig. 1. To simulate the server processing requests of different types entered into the model coloring i as markers of different shapes $\langle \blacktriangledown, \blacklozenge, \blacksquare, \bullet \rangle$. Markers indicated with a circle, reflect the employment status of a resource of the application server query processing channels to the application server.

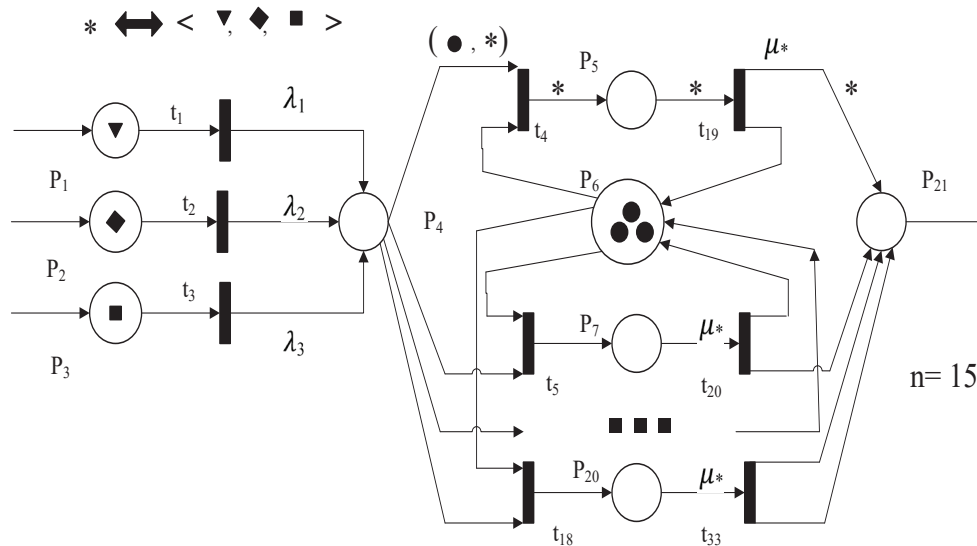


Fig. 1 – Web server model in the form of a colored Petri net

Petri net transitions t_1, t_2, t_3 are associated with request sources, and the intensity of their arrival at the application server inputs is determined by the known values of the intensities $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, respectively.

The set of M server channels is represented as a subset of loaded M_1 channels and a subset of free M_2 channels, provided that $M_1 \cap M_2 = \emptyset$ and $M = (M_1, M_2)$. The moments when the application server starts

processing requests are determined by transitions t_4, t_5, \dots, t_{18} . When the next request received at time t_j , the $K_q M_2$ service channel with the minimum number starts working. The start time of the K_q channel is determined by the time $\tau_k^q = \tau_j$. The end of request service is determined by transitions $t_{19}, \dots, t_{31}, t_{33}$. The end time of service with the i -th channel coloring K_q is set by the expression (1):

$$t_k^q = \tau_k^q + 1 / \mu_i; \quad i=1, 2, 3, \quad (1)$$

where μ_i is the service intensity of the request with the i -th coloring.

In General, modeling and analysis of CIS based on CPN is very complex and time-consuming, and therefore special-

ized software products are used. In particular, the specialized CPN TOOLS package [8].

In contrast to Petri nets, QT allows, in addition to direct simulation of CIS under certain assumptions about incoming request and service flows, to obtain final formulas for CIS performance indicators in analytical form. For example, for the simplest flows of receipt and service of requests, the calculation of performance indicators of the CIS can be performed on the discrete and continuous Markov chains [9]. In this case, the Web server operation can be represented by the following state graph (fig. 2), which corresponds to the uniformity of the request flow and the absence of coloring in the Petri net model shown in fig. 1. Other words, in the model circulates an ordinary request flow with an exponential distribution.

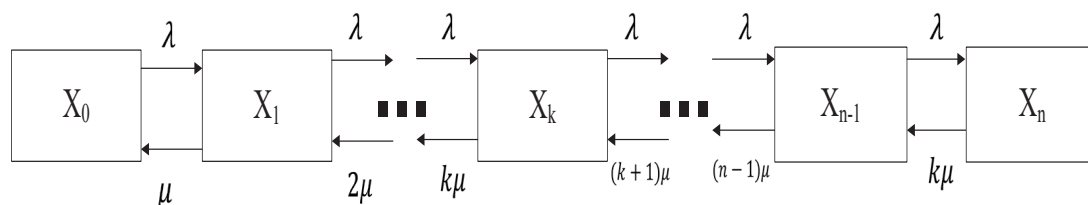


Fig. 2 – Web server state graph

The operation of such a Queuing system model (QMS) from the point of view of QT is as follows.

The operation of such a Queuing system model (QMS) from the point of view of QT is as follows. The simplest stream of requests with a known intensity λ fed to the input of the n -channel CIS. The intensity of the simplest request service flow for each channel determined by the value of μ . According to Fig. 2 in this CIS model, the following set of states is possible:

- X_0 – all channels are free, one request is not served;
- X_1 – exactly one channel is busy (which one is not important), one request is being served;
- X_n – exactly k channels are busy (which ones are not important), k requests are served;
-
- X_n – all n channels are busy, n requests served.

If the request finds all n channels busy, the request is rejected (leaves the system unserved).

In the special case considered earlier, we assumed that the number of service channels is $n = 15$, i.e. the Web server

is configured to simultaneously work with 15 channels. For the Web server state graph (Fig. 2), in accordance with the mnemonic rule for composing equations [4], the system of differential equations for the probabilities p_i of States X_i defined as:

$$\begin{cases} \dot{p}_0(t) = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t); \\ \dots \\ \dot{p}_k(t) = -[\lambda + k\mu] p_k(t) + \lambda p_{k-1}(t) + (k+1)\mu p_{k+1}(t), \quad (2) \\ \dots \\ \dot{p}_n(t) = -n\mu p_n(t) + \lambda p_n(t), \end{cases}$$

where $k = 1, \dots, n-1$.

The system of differential equations (2) integrated under initial conditions:

$$\begin{cases} p_0(0) = 1; \\ p_k(0) = 0; p_n(0) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

In this case, the solution of the system of differential equations (2) satisfies the normalization condition:

$$\sum_{k=0}^n p_k(t) = 1, \quad (t \geq 0). \quad (4)$$

The simplest stream of requests with a known intensity λ fed to the input of the n -channel CIS. The intensity of the elementary service flow for receiving and servicing requests performed over a long-time interval. Mathematically, this mode corresponds to the ergodic mode of operation of the CIS, which corresponds to the following algebraic system of equations:

$$\begin{cases} O = -\lambda p_0 + \mu p_1; \\ \dots \\ O = -[\lambda + k\mu] p_k + \lambda p_{k-1} + (k+1)\mu p_{k+1}; \\ \dots \\ O = -n\mu p_n + \lambda p_{n-1}, \end{cases} \quad (5)$$

Solving the system (5) together with (4), we obtain a formula for the probabilities of the state of the CIS model under consideration:

$$p_k = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{\sum_{k=0}^n \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k} \cdot \frac{1}{k!}, \quad (k = \overline{0, n}). \quad (6)$$

Let's introduce the notation: $\bar{\lambda} = \lambda/\mu$, where $\bar{\lambda}$ is equal to the average number of requests received by the system during the average service time of one request in one channel. Given the expressions for $\bar{\lambda}$ and multiplying the numerator and denominator (6) by $e^{-\lambda}$, we get:

$$p_k = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k e^{-\lambda}}{\sum_{k=0}^n \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k e^{-\lambda}} = \frac{p(k, \bar{\lambda})}{R(n, \bar{\lambda})}, \quad (7)$$

where $p(k, \bar{\lambda})$ and $R(n, \bar{\lambda})$ are table functions of the Poisson distribution [4].

Based on the formula (7), you can get a number of indicators for the operation of a computer information system: the probability of downtime, the probability of failure, the average number of busy channels, average time to fully load the system and so on.

In particular, the following indicators are relevant for the CIS analysis:

1. The probability of servicing the request:

$$P_{обсл.} = \frac{R(n-1, \bar{\lambda})}{R(n, \bar{\lambda})}. \quad (8)$$

2. Average time to fully load the system:

$$t_{n.з.} = \frac{1}{n\bar{\lambda}}. \quad (9)$$

3. Probability that at least one channel is busy:

$$P_{з.к.} = \frac{P(n, \bar{\lambda})}{R(n, \bar{\lambda})}. \quad (10)$$

4. Probability of failure:

$$P_{омк.} = 1 - P_{обсл.}. \quad (11)$$

Example of calculating CIS performance indicators

Let the CIS have 15 communication channels (Fig. 1). The flow of applications (documents) is on average $\lambda = 1$ 1/sec., the average document processing time is $T = 10$ sec., i.e. $\mu = 0,1$ 1/sec. The distribution law is exponential. It is necessary to evaluate the main characteristics of the information system, including the likelihood of immediate processing of the document immediately upon its receipt.

Using the above formulas (6) – (11), we can calculate the following indicators of the CIS:

Probability of failure: $Pf = 0,0365$.

Probability of service: $Ps = 1 - 0,0365 = 0,9635$.

Absolute throughput A , i.e. all documents entering the system are processed almost immediately: $A = 1 - 0,9635 \approx 0$

Average number of active communication channels (equal to the average number of requests):

$$n_{av} = \lambda / \mu = 1 / 0,1 = 10.$$

Usage and downtime rates for communication channels:

$$K_{us} = n_{av} / n = 0,666; k_d = 1 - k_{us} = 0,334.$$

If we take the number of communication channels $n = 10$, then the utilization factor becomes close to 1 ($K_{us} = 0,997$). In other words, in the CIS under the above conditions, there is practically no downtime of any service channels.

The example of calculating the performance indicators of an information system shows that it is possible to regulate certain performance indicators of the CIS within certain limits, mainly due to the number of communication channels and the time for processing documents. At the same time, additional communication channels can be not only



physical channels, but also virtual dynamic communication channels [11].

Conclusion. The Petri and QT models proposed in this paper for modeling and calculating CIS performance indicators are universal in terms of the characteristics of the flows of receipt and service of requests in the CIS. In addition to

simulation modeling, QT allows you to obtain final formulas for CIS performance indicators in analytical form, under certain assumptions about incoming request flows and their service flows. This reflected in the given example of calculating the performance of a computer information system under the formulated conditions of its operation.

REFERENCES:

1. Peterson J. Petri net theory and system modeling / Peterson J. – M. : Mir. 1984. – 264 p.
2. Goma, H. UML. Design of real-time systems, parallel and distributed applications. from English. – M. : DMK Press 2002. – 704 p.
3. Shelukhin O. I. Modeling of information systems / Shelukhin O. I. – M. : Radio Engineering. 2005. – 368 p.
4. Sedykh I. A., Anikeev E. S. Application of colored time Petri nets for modeling cement production *Bulletin of the don state technical University*, 2016, №4(87). – Pp. 140–145.
5. Ven O. I., Gurin N. N., Kogan Ya. a. quality Assessment and optimization of computing systems. M., Nauka, GRFML, 1982. – 468 p.
6. Thomas Erl, Anish Karmarkar, Priscilla Walmsley. Web Service Contract Design & Versioning for SOA. – Hardcover 2011 – 826 p.
7. Isaichenko D. The measurement of it management processes. D. Isaichenko *Open systems*. 2011. – No. 07. – P. 22–28.
8. Bohan K. A., Khudoley M. S. Analysis of Petri nets in the CPN tools modeling environment. – Kharkiv, N.E. Zhukovsky NAU, *Systemi obrobki informatsii*, 2010, №9 (90). – P. 20–23.
9. Kelbert M. Ya., Sukhov Yu. M. Probability and statistics in examples and problems. V. II: *Markov chains as the starting point of the theory of stochastic processes and their applications*. – Moscow : mtsnmo, 2010. – 295p.
10. Ovcharov L. A. Applied problems of the queueing theory. Ovcharov L. A. – M. : Mechanical engineering. 1969. – 324p.
11. A. Stenin, I. Drozdovych, A. Gubskiy, S. Stenin Modeling and stabilization of the operation of Internet voting systems (IVS). (Abstracts of the 1st international scientific and practical conference. *The world of science and innovation* August 19–21, 2020. – P. 97–105), London, United Kingdom.



МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Стенин Александр,

д.т.н., профессор, кафедра технической кибернетики,
Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”,
просп. Победы 37, Киев, Украина, 03056
e-mail: alexander.stenin@yandex.ua

Пасько Виктор,

к.т.н., доцент, кафедра технической кибернетики,
Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”,
просп. Победы 37, Киев, Украина, 03056
e-mail: vppasko@ukr.net

Губский Андрей,

к.т.н., кафедра технической кибернетики,
Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”,
просп. Победы 37, Киев, Украина, 03056
e-mail: andrew.gubskiy@gmail.com

Дроздович Ирина,

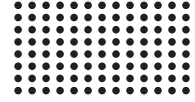
к.т.н., Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины
Чоколовский бульвар 13, Киев, Украина, 03186
e-mail: irina.drozdowicz@gmail.com

Аннотация. Эффективность современных компаний во многом зависит от эффективности компьютерных информационных систем (КИС). Эффективность деятельности КИС может быть проанализирована путем моделирования и расчета их показателей эффективности. Для анализа и моделирования КИС класса “клиент-сервер” наиболее широко используется математический аппарат сетей Петри и теория массового обслуживания. Представление КИС в виде сети Петри позволяет получить информацию о структуре и динамическом поведении КИС. Наиболее эффективными в случае моделирования и анализа корпоративных информационных систем с сервис-ориентированной архитектурой (СОА) являются цветные сети Петри (ЦСП). ЦСП – это графо-ориентированный язык для проектирования, описания, моделирования и управления распределенными и параллельными КИС. В отличие от классических сетей Петри, типизация данных на основе концепции набора цветов играет важную роль в ЦСП.

При моделировании и анализе КИС невозможно ограничиться созданием единой модели, что связано со сложностью конфигурации взаимодействующих компонентов. Следовательно, учет и анализ характеристик КИС в рамках одной модели является очень сложным и часто непрактичным. В связи с этим актуальной задачей является построение нескольких взаимодополняющих моделей функционирования КИС.

В данной работе предложены две модели работы веб-сервера как основного компонента КИС, основанные на аппарате сетей Петри и теории систем массового обслуживания. В целом моделирование и анализ КИС на основе ЦСП является очень сложным и трудоемким процессом, в связи с чем используются специализированные программные продукты. В частности, специализированный пакет инструментов ЦСП. В отличие от сетей Петри, ТСМО позволяет, помимо прямого моделирования КИС при определенных допущениях о входящих потоках запросов и услуг, получать окончательные формулы показателей эффективности КИС в аналитической форме.

Ключевые слова: компьютерные информационные системы, раскрашенные сети Петри, аппарат цепей Маркова, теория массового обслуживания, граф состояний, расчет количества слов.



МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Стенін Олександр,

д.т.н., професор, кафедра технічної кібернетики,
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
просп. Перемоги 37, Київ, Україна, 03056
e-mail: alexander.stenin@yandex.ua

Пасько Віктор,

к.т.н., доцент, кафедра технічної кібернетики,
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
просп. Перемоги 37, Київ, Україна, 03056
e-mail: vppasko@ukr.net

Губський Андрій,

к.т.н., кафедра технічної кібернетики,
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
просп. Перемоги 37, Київ, Україна, 03056
e-mail: andrew.gubskiy@gmail.com

Дроздович Ірина,

к.т.н., Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України
Чоколівський бульвар 13, Київ, Україна, 03186
e-mail: irina.drozdowicz@gmail.com

Анотація. Ефективність сучасних компаній багато в чому залежить від ефективності комп'ютерних інформаційних систем (КІС). Ефективність діяльності кіс може бути проаналізована шляхом моделювання та розрахунку їх показників ефективності. Для аналізу і моделювання кіс класу "клієнт-сервер" найбільш широко використовується математичний апарат мереж Петрі і теорія масового обслуговування. Подання КІС у вигляді мережі Петрі дозволяє отримати інформацію про структуру і динамічну поведінку КІС. Найбільш ефективними у випадку моделювання та аналізу корпоративних інформаційних систем з Сервіс-орієнтованою архітектурою (СОА) є кольорові мережі Петрі (КМП). КМП-це графо-орієнтована мова для проектування, опису, моделювання та управління розподіленими і паралельними КІС. На відміну від класичних мереж Петрі, типізація даних на основі концепції набору кольорів відіграє важливу роль в КМП.

При моделюванні та аналізі КІС неможливо обмежитися створенням єдиної моделі, що пов'язано зі складністю конфігурації взаємодіючих компонентів. Отже, облік і аналіз характеристик КІС в рамках однієї моделі є дуже складним і часто непрактичним. У зв'язку з цим актуальним завданням є побудова декількох взаємодоповнюючих моделей функціонування КІС.

У даній роботі запропоновані дві моделі роботи веб-сервера як основного компонента КІС, засновані на апараті мереж Петрі і теорії систем масового обслуговування. В цілому моделювання та аналіз КІС на основі КМП є дуже складним і трудомістким процесом, у зв'язку з чим використовуються спеціалізовані програмні продукти. Зокрема, спеціалізований пакет інструментів КМП. На відміну від мереж Петрі, ТСМО дозволяє, крім прямого моделювання кіс при певних допущеннях про вхідні потоки запитів і послуг, отримувати остаточні формули показників ефективності кіс в аналітичній формі.

Ключові слова: комп'ютерні інформаційні системи, кольорові мережі Петрі, апарат ланцюгів Маркова, теорія масового обслуговування, графік стану, розрахунок кількості слів.



ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ НАВЧАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 004.9

DOI

Раїса Захарченко,

к.т.н, доцент кафедри Програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: zraissa2@gmail.com, ORCID 0000-0003-4650-3095

Леонід Захарченко,

аспірант кафедри Програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
ORCID 0000-0001-9984-696X

Тетяна Кірюшатова,

к.т.н, доцент кафедри Програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: tanyakir1963@gmail.com, ORCID 0000-0002-0000-0065

Олена Штуца,

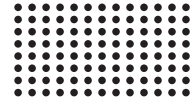
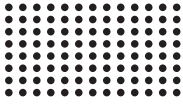
аспірантка кафедри Програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: shtutsaelena79@gmail.com, ORCID 0000-0001-8817-3800

Анотація. Метою є дослідження алгоритмів навчання штучної нейронної мережі для класифікації зображень з достатньою точністю передбачення придатності зображення до класу.

Методи дослідження. В роботі використані методи наукових досліджень такі як: експеримент, аналіз результатів діяльності. Із теоретичних методів дослідження використані: аналіз, синтез, порівняння.

Основні результати дослідження. Досліджено алгоритми та механізми швидкого навчання штучних нейронних мереж з наведеними прикладами, визначено їх переваги та недоліки. Результатом дослідження став розроблений програмний продукт, який показує користувачу втрати та точність на кожній епісі навчання, що допомагає зрозуміти, чи в правильному напрямку модель рухається під час навчання. Для моделі будуть побудовані графіки для демонстрації її результатів, а також зображення, користувач може скористатися своєю моделлю на практиці. Використані методи дали кращі результати, перенавчання майже не відчувається

Наукова новизна. Розроблений програмний продукт для класифікації зображень до однієї категорії з достатньою точністю передбачення придатності зображення до класу, який можна використовувати для подальшого покращення результатів шляхом внесення поступових змін з використанням додаткових методів проектування штучних нейронних мереж.



Практична значимість. З кожним роком все більший інтерес людства викликає застосування штучного інтелекту в сферах життєдіяльності людини. Дана тема є дуже актуальною для вивчення в наш час, коли штучний інтелект все більш активно починає впроваджуватися у різні сфери, такі як маркетинг, сільське господарство, навчання, медицину, економіку, зв'язок, безпеку охоронних систем, обробку інформації і т.д. Розроблений додаток може стати основою для розширення кількості охоплюваних образів, або стати частиною більш складної системи. Результати дослідження можна використовувати у навчальному процесі для наочного представлення переваг та недоліків методів машинного навчання, принципів їх використання у сфері розпізнавання образів.

Ключові слова: машинне навчання, алгоритми, методи навчання, нейрони, нейронна мережа згортовка нейронна мережа.

Постановка проблеми. Необхідно розробити додаток для класифікації зображень, використовуючи набір з 14000 зображень, що належать до шести різних категорій. Все, на що спирається алгоритм при побудові прийнятної моделі визначення класів – результати обробки зображень згідно з параметрами моделі. Дослідження відбувалося наступними кроками:

- отримання даних – перший етап, коли набір зображень отримується, щоб можна було почати його обробку;
- перетворення даних – другий етап, коли зображення приводяться до одного й того ж самого розміру, а також коли на основі зображень відбувається розширення даних;
- очищення даних відбувається стандартними методами бібліотеки Keras. Дані доводяться до вигляду, який може зчитувати та яким може маніпулювати нейронна мережа;
- модель навчається на отриманих даних;
- будуються графіки точності та витрат розробленої моделі;
- відбувається оцінка якості моделі з використанням контрольного тестового набору зображень, що не були зайняті в процесі навчання;
- модель використовується для визначення класів зображень, які їй надає кінцевий користувач. Цей етап є важливим, адже користувач вже сам може оцінити, чи влаштовують його результати роботи програми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вчені досліджували і досліджують різні методи в навчанні штучних нейронних мереж, але цього недостатньо і проблема потребує більш детального розгляду.

Серед сучасних вітчизняних науковців варто виділити Акулова П.В. та Осовського С. Так, зокрема, в сферу діяльності Акулова П.В. входять питання вирішення задач за допомогою нейронних мереж, а Станіслав Осов-

ський [7] займається дослідженнями нейронних мереж у сфері обробки інформації. Волосюк Ю.В. [6] у своїх дослідженнях розглядає кластеризацію (кластерний аналіз даних), переваги та недоліки цього алгоритму як широкого класу завдань навчання без вчителя. В'югін В.В. [5] знайомить з математичними основами сучасної теорії машинного навчання. У праці автора викладаються основи статистичної теорії машинного навчання, розглядаються завдання класифікації та регресії з опорними векторами, теорією узагальнень та алгоритмами побудови розділених гіперплоскостей.

Зарубіжні автори (J. Feldman, M.A. Fanty, and N.H. Goddard [4]) звертаються до проектування, реалізації та аналізу мережі, що втілює конкретні обчислювальні структури, необхідні для вирішення складних проблем. Вони зосереджені на розробці та використанні масово паралельних кон'юнктурних обчислювальних моделей, особливо в галузі штучного інтелекту. Вони описують обчислювальне середовище для роботи зі структурованими мережами та представляють деякі приклади програм. Протягом усього часу вони розглядають адаптацію та навчання як способи вдосконалення структурованих мереж, а не як заміну аналізу та дизайну.

В праці J.A. Anderson and E. Rosenfeld [3] коротко описані і обговорюються мережі Хопфілда, адаптивна двохнаправлена асоціативна пам'ять і навчання Кохонена.

У праці A.K. Jain and J. Мао [2] досліджено принципи роботи біологічного нейрону та його штучної обчислювальної моделі.

Мета дослідження. Метою дослідження є визначення недоліків та переваг способів машинного навчання, їх особливості та характеристики, розширення знань щодо структури та принципів їх роботи. Необхідно навчити нейронну мережу якомога точніше визначити приналежність образу до класу.

Виклад матеріалу дослідження. Штучна нейронна мережа – це мережа простих елементів, названих нейронами, які отримують вхід, змінюють свій внутрішній стан збудження відповідно до цього входу, і виробляють вихід, залежний від входу та збудження. Мережа утворюється з'єднанням виходів певних нейронів зі входами інших нейронів з утворенням орієнтованого зваженого графу. Ваги, як і функції, що обчислюють збудження, можуть змінюватися процесом, званим навчанням, який керується правилом навчання. Правило навчання – це правило або алгоритм, який змінює параметри нейронної мережі, щоб заданий вхід до мережі видавав придатний вихід. Цей процес навчання зазвичай полягає в зміні ваг та порогів змінних мережі.

Штучна нейронна мережа – це взаємозв'язана мережа вузлів, уподібнена до мережі нейронів у головному мозку. На рис. 1 кожним круговим вузлом представлено штучний нейрон, а стрілкою – з'єднання виходу одного штучного нейрону зі входом іншого.

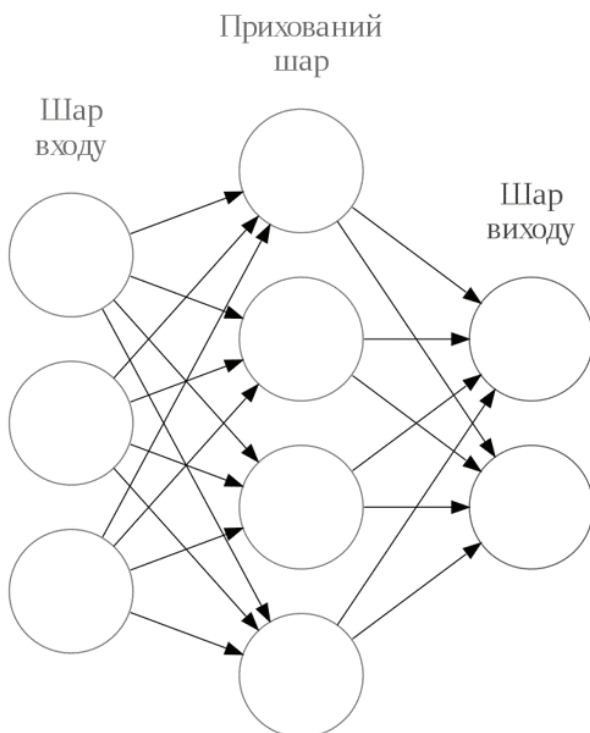


Рис. 1 – Базове уявлення штучної нейронної мережі

Машинне навчання – це підгалузь штучного інтелекту в галузі інформатики, яка часто застосовує статистичні прийоми для надання комп'ютерам здатності "навчатися" [1].

Назву "машинне навчання" було започатковано 1959 року Артуром Семюелем. Еволюціонувавши з досліджень розпізнавання образів та теорії обчислювального навчання в галузі штучного інтелекту, машинне навчання досліджує вивчення та побудову алгоритмів, які можуть навчатися й робити передбачення з даних [2, 3]. До прикладів застосувань належать фільтрування електронної пошти, виявлення мережних зловмисників, що намагаються заволодіти інформацією, оптичне розпізнавання символів, розпізнавання образів і т.д.

Основна мета системи, яка навчається, — це робити узагальнення зі свого досвіду.

Процес навчання штучних нейронних мереж розглядається як налаштування архітектури і зв'язків між нейронами для ефективного виконання поставлених перед мережею завдань. Існує два великих класи навчання: клас детермінованих методів і клас стохастичних методів.

До класу детермінованих входять методи, в основі яких лежить ітеративна корекція параметрів мережі, в ході поточної ітерації яка ґрунтується на поточних параметрах. Основним детермінованим методом і найпоширенішим методом навчання мереж сьогодні є метод зворотного поширення помилки.

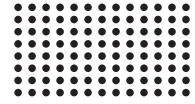
До класу стохастичних входять методи, що змінюють параметри мережі випадковим чином і зберігають тільки ті зміни параметрів, які призвели до поліпшення результатів роботи. Стохастичні алгоритми навчання реалізуються за допомогою порівняння помилок.

Існують певні способи навчання штучних нейронних мереж.

Одним з них є спосіб навчання з учителем. Під час навчання мережі з учителем кожному прикладу з навчальної вибірки відповідає вектор, що характеризує однозначну правильну відповідь, що подається відразу на вихід мережі в обхід всієї її архітектури [1].

Після отримання власного результату мережею, алгоритм порівнює результуючий вектор з правильною відповіддю, на основі чого відбувається корекція подальших помилок.

Навчання без вчителя у застосуванні до штучний нейронних мереж реалізується природним чином в процесі навчання, коли автоматичне налаштування параметрів мережею призводить до появи однакових результатів її функціонування при досить близьких вхідних значеннях [4]. Навчання без вчителя – один зі способів машинного навчання, при вирішенні яких випробовувана



система спонтанно навчається виконувати поставлене завдання, без втручання з боку експериментатора. Як правило, це підходить тільки для задач, в яких відомий опис множини об'єктів (навчальна вибірка), і необхідно виявити внутрішні взаємозв'язки, залежності, закономірності, що існують між об'єктами.

Навчання з частковим залученням вчителя це гібрид навчання з учителем і без. Цей спосіб можна застосовувати для розпізнавання шахрайства зі спробами видати себе за іншого. Шахрайства можна класифікувати як аномалію на тлі звичайної активності. Методи машинного навчання з частковим залученням вчителя дозволяють створювати моделі, що розпізнають такі аномалії. Відповідні системи нерідко застосовуються для виявлення спроб шахрайства при онлайн-угодах.

При навчанні з підкріпленням машині дозволяють взаємодіяти з оточенням (наприклад, скидати браковану продукцію з конвеєра в кошик) і "винагороджують", коли вона правильно виконує завдання. Автоматизувавши підрахунок винагород, можна дати можливість машині «навчатися» самостійно [3].

Одне із застосувань навчання з підкріпленням – сортування товарів в роздрібних магазинах.

Глибоке навчання може проходити як без учителя, так і з підкріпленням. При глибинному навчанні частково імітуються принципи навчання людей – використовуються нейронні мережі для все більш докладного уточнення характеристик набору даних.

Глибинні нейронні мережі застосовуються, зокрема, для прискорення скринінгу великих обсягів даних при пошуку, наприклад, лікарських засобів.

Поклала початок глибокому навчанню у 1994-му одна з перших згорткових нейронних мереж, що була розроблена Яном Лекун (Yann LeCun). Після багатьох успішних ітерацій починаючи з 1988-го отримала назву LeNet5. Ця нейронна мережа лягла в основу багатьох наступних архітектур і надихнула безліч дослідників.

Згорткова нейронна мережа (англ. Convolutional neural network, CNN) – спеціальна архітектура штучних нейронних мереж, націлена на ефективне розпізнавання образів, входить до складу технологій глибокого навчання (англ. Deep learning).

Ідея згорткових нейронних мереж полягає в чергуванні згорткових шарів (англ. Convolution layers) і субдискретизуючих шарів (англ. Subsampling layers або англ. Pooling layers, шарів підвибірки). Структура

мережі – односпрямована (без зворотних зв'язків), принципово багатозарова. Для навчання використовуються стандартні методи, найчастіше метод зворотного поширення помилки. Функція активації нейронів (передавальна функція) – будь-яка, за вибором дослідника.

Назву архітектура мережі отримала через наявність операції згортки, суть якої в тому, що кожен фрагмент зображення множить на матрицю (ядро) згортки елемент за елементом, а результат підсумовується і записується в аналогічну позицію вихідного зображення [7]. На рис. 2 представлено модель загорткової нейронної мережі.

Розпізнавання об'єктів на фото і відео за допомогою нейронних мереж застосовується в безпілотному транспорті, відеоспостереженні, системах контролю доступу, системах «розумного будинку» і т.д.

Машинне навчання дуже дієве, адже для різних завдань завжди можна використати різні методи для досягнення результатів. Серед методів машинного навчання виділено такий, як дерево рішень.

Для виконання завдання класифікації зображень до однієї категорії було вирішено розробити модель нейронної мережі з нуля з використанням отриманих під час вивчення та аналізу предметної області знань та умінь. Побудована модель є достатньо легкою та невеликою за обсягом. Проте в результаті вдалося досягти точності передбачення придатності зображення до класу рівному 86%.

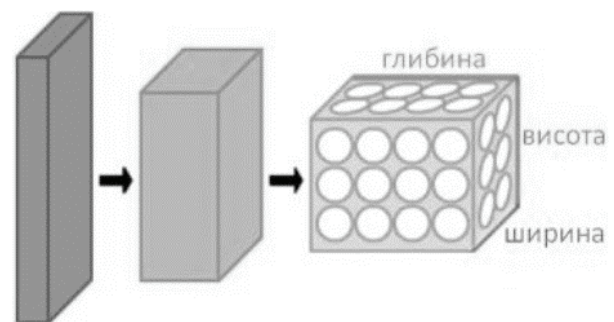


Рис. 2 – Модель згорткової нейронної мережі

Однією з основних проблем під час навчання моделі було її перенавчання. Перенавчання є неприємним, хоча і не критичним, процесом, з яким варто боротися різними методами.

Оцінка результатів проходила з використанням тестового набору зображень, у якому були підписані класи приналежності зображення до групи. Це допомагає оцінити адекватність передбачення моделі, адже

ці дані гарантовано не використовувалися під час навчання моделі. Результатом перевірки моделі на вико-

нання наданих у завданні умов можна перевірити функцію передбачення моделі (рис. 3):

```
282/282 [=====] - 30s 107ms/step - loss: 0.5600 - accuracy: 0.8661
[0.5600427985191345, 0.8661110997200012]
```

Рис. 3 – Якість роботи моделі

Функція передбачення моделі, яка використовує тестові дані для перевірки показала, що модель здатна встановити приналежність зображення до відповідної категорії у 86,5% випадків, а такий результат є достатньо задовільним. Тут видно гарантію того, що модель не просто навмання обирає класи, а дійсно розробила й вивчила шаблони, характерні для кожної групи зображень. Модель уміє їх відрізняти, використовувати при прогнозуванні, а отже виконує поставлену перед нею задачу цілком.

Вочевидь, досягти високих результатів з першої ж спроби виявилось неможливо, а отже в процесі розробки додатка вдалося створити декілька моделей, які відрізняються параметрами, їх характеристиками, якістю оцінювання і т. п. Використовувалася дуже велика кількість параметрів. Спочатку, здавалося, що визначення великої кількості параметрів буде гарантувати високу якість роботи. Але в результаті модель не показала хороших результатів. Приблизно з восьмої епохи модель почала процес перенавчання, що призвело до того, що модель не змогла покращити результати свого передбачення приблизно з тієї ж епохи. В результаті, навіть на тестових даних дана модель показала процент правильних відповідей лише близько 80%. При цьому на навчальних даних процент доходив до позначки 94.

Щоб уникнути такого ефекту було вирішено переосмислити модель, зробити її варіант з меншою кількістю параметрів, адже складалося враження що модель просто створювала все більше й більше відомих й менше нових шаблонів.

Друга модель мала більш ніж в 5 разів менше параметрів. Здавалося, що це допоможе спростити проблему перенавчання, але точно не допоможе позбутися її зовсім. Дійсно, модель показала більшу точність, дець на рівні 82%, що є покращенням. Але графік витрат показав, що перенавчання почалося ще раніше, на шостій епосі. Це же

не призвело до початку повного перенавчання, але все ж воно почалося вже після одинадцятої епохи.

В результаті було змінено певні параметри шарів, щоб якось виправити результати у кращій бік. Був доданий додатковий Dropout шар, було використано метод l2-регуляризації.

Крім цього, було вирішено скористатися методом розширення даних, щоб створити додаткові зображення з існуючих і розширити робочу вибірку. В теорії це мало допомогти моделі навчитися краще. На рис. 4 представлено графік точності та витрат другої моделі.

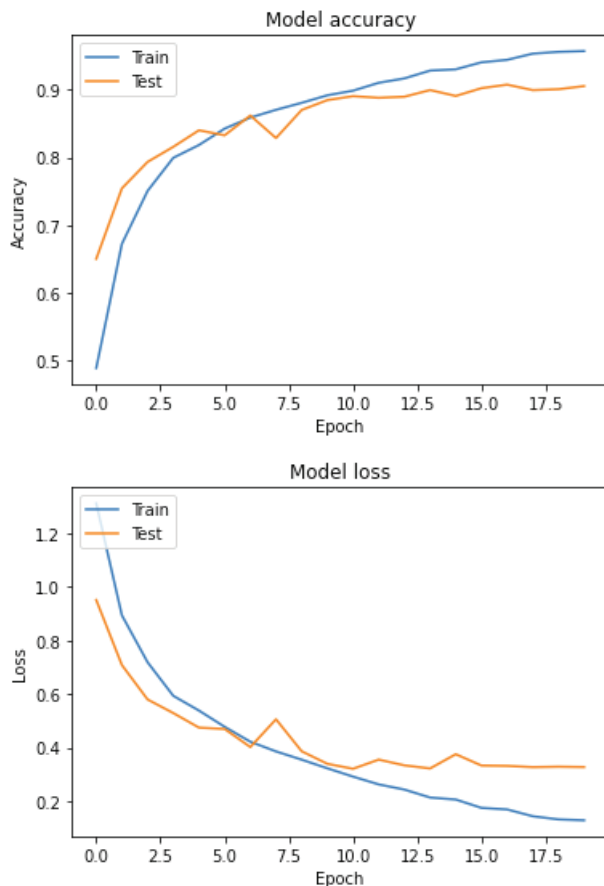


Рис. 4 – Графіки точності та витрат другої моделі

І дійсно, використані методи допомогли отримати кращі результати. Перенавчання майже не відчувалося, хоча і видно, що воно почалося десь приблизно після 15 епохи, а також два рази у випадковий час трохи раніше. Але це не призвело до значного зниження якості класифікації. В результаті можна побачити, що модель показує дуже чудовий результат. Як і у випадку першої моделі результат точності класифікації на навчальному наборі знаходиться близько 93%, але при цьому і результат перевірки тестових даних без значних зсувів

близиться до відмітки 86,5%, що є дуже чудовим показником якості.

Розроблений програмний продукт керується певною логікою під час своєї роботи. Спочатку, користувач вказує папки, де знаходяться тренувальний та тестовий набори даних. Це необхідно для того, якщо користувач захоче перенавчити модель знову, щоб побачити усі результати навчання самостійно. Програма покаже процес навчання, який можна побачити на рис. 5.

```
Epoch 1/20
 2/307 [.....] - ETA: 1:08 - loss: 6.8554 - accuracy: 0.2031WARNING:tensorflow:Callbacks method `on_train_
batch_end` is slow compared to the batch time (batch time: 0.1020s vs `on_train_batch_end` time: 0.3490s). Check your callbacks.
307/307 [=====] - 158s 514ms/step - loss: 1.4793 - accuracy: 0.4137 - val_loss: 0.9923 - val_accuracy: 0.61
53
Epoch 2/20
307/307 [=====] - 159s 517ms/step - loss: 1.0624 - accuracy: 0.5938 - val_loss: 0.8001 - val_accuracy: 0.71
17
Epoch 3/20
307/307 [=====] - 154s 500ms/step - loss: 0.8968 - accuracy: 0.6762 - val_loss: 0.7199 - val_accuracy: 0.72
93
```

Рис. 5 – Процес навчання моделі

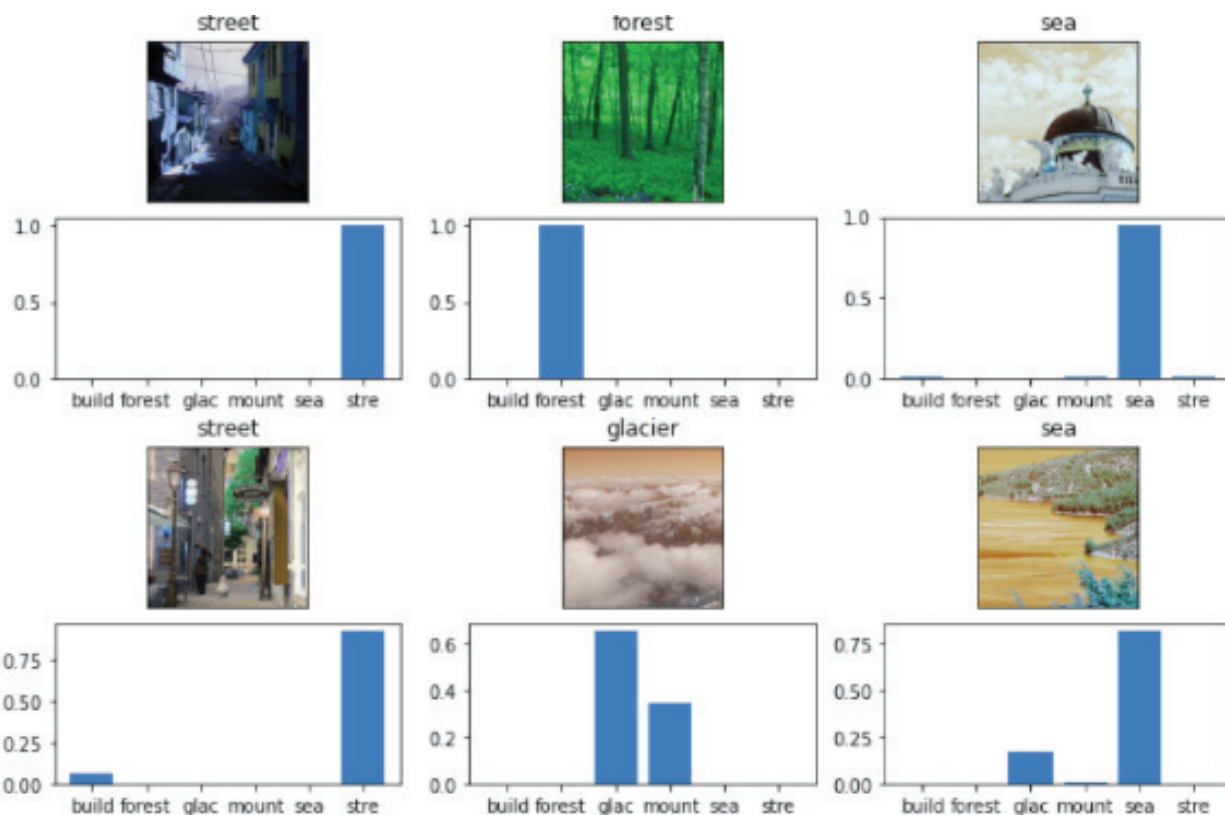


Рис. 6 – Класифікація зображень



Програма показує користувачу втрати та точність на кожній епісі навчання. При цьому точність відокремлюється для тренувальних даних від тестових. Це допомагає зрозуміти, чи в правильному напрямку модель рухається під час навчання.

Користувач зможе побачити деякі зображення з підписами класів, до яких вони належать. Важливо відмітити, що, хоча зображення з точки зору логіки може належати до декількох класів одночасно, тестовий та тренувальний набори містять лише одне співвідношення зображення-клас.

Після навчання моделі, користувач отримає її собі копію, на той випадок, якщо захоче використати у майбутньому. Крім цього, як можна побачити вище, для моделі будуть побудовані графіки для демонстрації її результатів, а також зображення. В кінці, користувач може скористатися своєю моделлю на практиці. Все, що йому необхідно – ввести у необхідне поле шлях до папки з зображеннями. Це змусить програму запустити процес класифікації зображень. Для загальної демон-

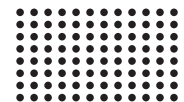
страції було вирішено відобразити певний набір зображень, а також результати класифікації нейронної мережі у вигляді невеликого графіку рис. 6.

Точність моделі складає 86,5%, а отже помилки можливі. Проте це досить точна класифікація, якщо врахувати, що багато зображень дійсно можуть бути класифіковані по-різному.

Висновки. Досліджено алгоритми та механізми швидкого навчання штучних нейронних мереж визначено їх переваги та недоліки. Одним і недоліків визначено перенавчання штучних нейронних мереж. Розроблений програмний продукт для класифікації зображень до однієї категорії з достатньою точністю передбачення придатності зображення до класу. Програмний продукт може використовуватися в освітньому процесі у якості простого прикладу проектування нейронних систем для розпізнавання зображень, а також основою для подальшого покращення результатів шляхом внесення поступових змін з використанням додаткових методів проектування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Aurora Sanjeev. Computational Complexity – A Modern Approach / Sanjeev Aurora, B. Boaz. – Cambridge: 2009. – 325 p.
2. Jain A.K. and Mao J. «Neural Networks and Pattern Recognition», in Computational Intelligence: Imitating Life, J.M. Zurada, R.J. Marks II, and C.J. Robinson, eds., IEEE Press, Piscataway, N.J. – 1994. – Pp. 194–212.
3. Anderson J.A. and Rosenfeld E. «Neurocomputing: Foundation of Research», MIT Press, Cambridge, Mass. – 1988.
4. Feldman J., Fany M.A., and Goddard N.H., «Computing with Structured Neural Networks», Computer, Vol. 21, No. 3. – Mar.1988. – Pp. 91–103.
5. Вьюгин В.В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования. – изд. МЦНМО – 2013. – 304 с.
6. Волосяк Ю. Аналіз алгоритмів кластеризації для задач інтелектуального аналізу даних / Ю.В. Волосяк // Інформаційні технології. – 2014. – С. 112–119.
7. Осовський С. Нейронні мережі для обробки інформації / Пер. з польського І.Д. Рудинського. – М. : Фінанси и статистика. – 2002.
8. Згорткова нейронна мережа – просте пояснення CNN та її застосування. Evergreen. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/cnn.html>



STUDY OF NEURAL NETWORK LEARNING ALGORITHMS FOR IMAGE CLASSIFICATION

Raisa Zakharchenko,

Ph.D., Associate Professor of Software and Technology,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: zraissa2@gmail.com, ORCID 0000-0003-4650-3095

Leonid Zakharchenko,

graduate student of the Department of Software and Technologies,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
ORCID 0000-0001-9984-696X

Tetyana Kiryushatova,

Ph.D., Associate Professor of Software and Technology,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: tanyakir1963@gmail.com, ORCID 0000-0002-0000-0065

Olena Shtutsa,

Postgraduate Student, Department of Software and Technologies,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: shtutsaelena79@gmail.com, ORCID 0000-0001-8817-3800

Abstract. The aim is to study the algorithms for learning an artificial neural network to classify images with sufficient accuracy to predict the suitability of the image for the class.

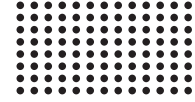
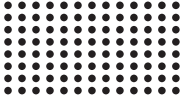
Research methods. The methods of scientific research are used in the work, such as: experiment, analysis of results of activity. Among the theoretical research methods used: analysis, synthesis, comparison.

The main results of the study. Algorithms and mechanisms of fast learning of artificial neural networks with the given examples are investigated, their advantages and disadvantages are defined. The result of the study was a software product that shows the user the loss and accuracy in each epoch of learning, which helps to understand whether the model is moving in the right direction during learning. Graphs will be built for the model to show its results, as well as images, the user can use their model in practice. The methods used gave the best results, retraining is almost not felt.

Scientific novelty. Developed a software product for classifying images into one category with sufficient accuracy to predict the suitability of the image for the class, which can be used to further improve the results by making gradual changes using additional methods of designing artificial neural networks.

Practical significance. Every year more and more interest of the humanity is caused by the use of the unit intellect in the spheres of human activity. This theme is very actual for studying in our time, when the unit intellect is more and more actively started to be introduced into different spheres, such as marketing, agriculture, education, medicine, economy, communication, security of defense systems, information processing, etc. The developed addendum can become the basis for increasing the number of images to be watched or become a part of a more complex system. The results of the research can be used in the educational process for the partial presentation of the advantages and disadvantages of machine learning methods, the principles of their use in the field of image recognition.

Key words: machine learning, algorithms, learning methods, neurons, neural network convolutional neural network.



ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Раиса Захарченко,

к.т.н., доцент кафедры Программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: zraissa2@gmail.com, ORCID 0000-0003-4650-3095

Леонид Захарченко,

аспирант кафедры Программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
ORCID 0000-0001-9984-696X

Татьяна Кирюшатова,

к.т.н., доцент кафедры Программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: tanyakir1963@gmail.com, ORCID 0000-0002-0000-0065

Елена Штуца,

аспирант кафедры программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: shtutsaelena79@gmail.com, ORCID 0000-0001-8817-3800

Аннотация. Целью является исследование алгоритмов обучения искусственной нейронной сети для классификации изображений с достаточной точностью предсказания годности изображения в класс.

Методы исследования. В работе использованы методы научных исследований такие как: эксперимент, анализ результатов деятельности. С теоретических методов исследования использованы: анализ, синтез, сравнение.

Основные результаты исследования. Исследованы алгоритмы и механизмы быстрого обучения искусственных нейронных сетей с приведенными примерами, определены их преимущества и недостатки. Результатом исследования стал разработанный программный продукт, который показывает пользователю потери и точность на каждой эпохе обучения, помогает понять, в правильном ли направлении модель движется во время обучения. Для модели будут построены графики для демонстрации ее результатов, а также изображения, пользователь может воспользоваться своей моделью на практике. Использованные методы дали лучшие результаты, переобучение почти не ощущается.

Научная новизна. Разработанный программный продукт для классификации изображений к одной категории с достаточной точностью предсказания отношения изображения к классу, который можно использовать для дальнейшего улучшения результатов путем внесения постепенных изменений с использованием дополнительных методов проектирования искусственных нейронных сетей.

Практическая значимость. С каждым годом все больший интерес человечества вызывает применение искусственного интеллекта в сферах жизнедеятельности человека. Данная тема очень актуальна для изучения в наше время, когда искусственный интеллект все более активно начинает внедряться в различные сферы, такие как маркетинг, сельское хозяйство, обучение, медицину, экономику, связь, безопасность охраняемых систем, обработку информации и т.д. Разработанное приложение может стать основой для расширения количества охватываемых образов, или стать частью более сложной системы. Результаты исследования можно использовать в учебном процессе для наглядного представления преимуществ и недостатков методов машинного обучения, принципов их использования в сфере распознавания образов.

Ключевые слова: машинное обучение, алгоритмы, методы обучения, нейроны, нейронная сеть сверточная нейронная сеть.



REFERENCES:

1. Sanjeev, A, & Boaz B., (2009). In book: Computational Complexity: a Modern Approach. Cambridge, 325 p.
2. Jain A.K., & Mao J., (1994). «Neural Networks and Pattern Recognition», in Computational Intelligence: Imitating Life, IEEE Press, Piscataway. Pp. 194-212.
3. Anderson J. & Rosenfeld E. (1988). Neurocomputing: Foundation of Research. Cambridge.
4. Feldman J., Fanty M., & Goddard N. «Computing with Structured Neural Networks», Computer, Vol. 21, Mar. 1988. No. 3. Pp. 91-103.
5. Vyugin V., (2013). In book: Mathematical Foundations of Machine Learning and Forecasting. 304 p.
6. Volosyuk Y., Analysis of clustering algorithms for tasks of intellectual analysis of data Information technologies. 2014. Pp. 112–119.
7. Osovskiy S., (2002). In book: Neuron lines for processing information. Transfer from the Polish I.D. Rudinsky. Finance and statistics.
8. Sayt Evergreen. Convolutional neural network – a simple explanation of CNN and its application URL: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/cnn.html> (data zvernennya: 16.01.2021).



ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ У СХОВИЩАХ ДАНИХ

УДК 004.65

DOI

Раїса Захарченко,

к.т.н, доцент кафедри Програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: zraissa2@gmail.com, ORCID 0000-0003-4650-3095

Леонід Захарченко,

аспірант кафедри Програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
ORCID: 0000-0001-9984-696X

Тетяна Кірюшатова,

к.т.н, доцент кафедри Програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: tanyakir1963@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0000-0065

Ігор Кибалко,

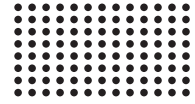
к.т.н., провідний інженер кафедри Програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: kybalko.igor@kntu.net.ua, ORCID: 0000-0002-6634-5277

Анотація. Робота присвячена аналізу теоретичних та методологічних основ побудови ефективного сховища даних для найбільш раціонального збереження інформації.

Методи дослідження. В роботі використані такі методи наукових досліджень: експеримент, аналіз результатів діяльності. Із теоретичних методів дослідження використані: аналіз, синтез, порівняння.

Основні результати дослідження. Досліджено способи і методи збереження інформації у сховищах даних. Розглянуто основні типи програмно-апаратної архітектури сховищ даних, визначено їх переваги та недоліки. Результатом дослідження стала класифікація методів збереження інформації, яка допомагає проектувальнику створити сховище даних з найменшими витратами. Представлені основні компоненти інформаційного сховища даних, що дозволило побудувати типову структуру сховища даних. Проведено порівняльний аналіз методів моделювання сховищ даних, який дозволяє користувачу скористатися на практиці більш ефективним методом при проектуванні та розробці сховищ даних для збереження інформації в організаціях і на підприємствах [1].

Наукова новизна. Розвиток інформаційних ресурсів і засобів доступу до них, стрімкий розвиток україномовного контенту Інтернету є факторами, які змінили спосіб і підхід до збереження великих обсягів інформації. Нау-



ковою новизною цієї теми є використання сучасних сховищ даних для збереження інформації в вищих навчальних закладах освіти.

Ця тема є актуальною оскільки якісне збереження інформації впливає на організацію роботи не лише окремого підрозділу організації, а й усієї організації. Швидкість і миттєва можливість звернення до потрібної інформації визначає якість роботи користувачів в організації, непрямим чином впливає на якість і собівартість продукції, що випускається або послуги, які надаються.

Практична значимість. Збільшення, з кожним роком, обсягів інформації, яку потрібно зберігати і обробляти призвело до необхідності проектування та розробки сховищ даних. Ця тема є дуже актуальною для вивчення тепер, коли сховища даних усе активніше починають впроваджуватися у різних сферах людської діяльності, таких як освіта, сільське господарство, навчання, медицина, економіка, зв'язок, безпека охоронних систем, обробка інформації тощо. Проведена класифікація може стати основою для розширення кількості сфер використання сховищ даних. Результати дослідження можна використовувати у навчальному процесі для наочного представлення переваг та недоліків методів збереження інформації в сховищах даних, принципів їх використання у промисловій та не промисловій сферах.

Ключові слова: багатовимірне моделювання, моделювання тимчасових даних, моделювання «звід даних», схема «зірка», схема «сніжинка», схеми з декількома таблицями фактів.

Постановка проблеми. Необхідно проаналізувати та виявити методи проектування сховищ даних з метою виявлення найбільш ефективного методу зберігання даних. Дослідження здійснювалось такими кроками:

- Визначення архітектури даних – перший етап, коли проектувальник сховища даних визначає елементи даних, їхні властивості та взаємозв'язки між ними. Одним з ключових моментів побудови архітектури даних є ступінь деталізації інформації при перетворенні її в елементи даних. Для даних OLTP-систем вирішення питань, пов'язаних з рівнем деталізації даних, не є настільки важливим, як в системах збереження даних. В базах даних OLTP-систем дані зазвичай детально структуровані.

- Рівень структуризації – другий етап (деталізації або гранулювання) даних (Data granularity). Рівень структуризації даних – це ступінь деталізації даних, що зберігаються, оптимальна з точки зору вирішення інформаційно-аналітичних завдань в рамках предметної області сховищ даних.

- Розбиття всього набору даних на певні класи з метою подальшої деталізації всередині виділеного класу. Для сховищ даних характерні три основні види даних (класу).

- Виділення фактичних даних (Real-time data), які представляють собою поточний стан кількісних і якісних показників діяльності організації. Джерелом таких даних є зазвичай OLTP-системи. Таким даним притаманий високий рівень структуризації. Для того щоб використовувати такі дані в сховищах даних, їх потрібно попередньо обробити за допомогою процедур очищення.

- Визначення похідних даних (Derived data), які представляють собою дані, що отримані в результаті підсумовування, агрегації та усереднення фактичних даних. Залежно від завдань аналізу такі дані можуть бути або детальними, або підсумковими.

- Визначення консолідованих даних (Reconciled data) – фактичних даних, які були очищені та являють собою інтегроване джерело даних для вирішення задач аналізу. Основна вимога до таких даних – їх узгодженість (consistency).

- Вибір методу моделювання сховища даних дає абстрактну модель сховища даних, що проектується.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вчені досліджували і досліджують різні методи збереження інформації в сховищах даних, але цього недостатньо і проблема потребує більш детального розгляду.

Серед сучасних вітчизняних науковців варто виділити Гаймакіна Н.А., Архіпенко С., Маклакова С.В. та інших. Так, зокрема, в сферу діяльності Гаймакіна Н.А. входять питання класифікації та використання інформаційних систем в різних сферах діяльності та використання баз і банків даних [1].

Архіпенко С. [5] займається дослідженнями концепції та впровадження сховищ даних у сфері обробки інформації. Маклаков С.В. [6, 7] у своїх дослідженнях розглядає напрямки проектування реляційних сховищ даних, переваги і недоліки генератору звітів. Туманов В.Е. [7] знайомить з математичними основами проектування реляційних сховищ даних.

Зарубіжні автори (Инмон Б. [2]) звертаються до проектування сховищ даних в залежності від їх типу, реалізації та аналізу сховищ даних, що втілює конкретні обчислювальні структури, необхідні для вирішення складних проблем

В праці Лоуенд Ш., Хилсон С., Хоббс Л. [3] коротко описані та обговорюються напрямки розробки і експлуатації сховищ даних.

Rainardi V. [4] описує основні об'єкти SQL Server 2008, наводить приклади використання цих об'єктів при побудові сховищ даних.

У праці Спірлі Е. [8] досліджено принципи роботи корпоративних сховищ. Моделі планування, розробки і реалізації сховищ даних при розробці корпоративних інформаційних систем.

Мета дослідження. Метою дослідження є виявлення найбільш ефективного методу при збереженні інформації в сховищах даних. Проблема вибору програмного забезпечення, на якому буде побудовано сховище даних, є ключовою і цей вибір залежить від цілого ряду факторів: які вимоги пред'являються до сховища даних, які функціональні характеристики повинні бути, на яких користувачів орієнтоване сховище даних, а також, якими засобами володіє замовник для придбання та підтримки функціонування необхідного устаткування.

Виклад матеріалу дослідження. Сховище даних (англ. data warehouse) — предметно орієнтований, інтегрований, незмінний набір даних, що підтримує хронологію та здатний бути комплексним джерелом достовірної інформації для оперативного аналізу і прийняття рішень. Оперативні дані збираються з різних джерел, очищуються від непотрібного, інтегруються та складаються в реляційне сховище. При цьому вони вже доступні для аналізу за допомогою різних засобів побудови звітів. Потім дані (повністю або частково) готуються для OLAP-аналізу. Вони можуть бути завантажені в спеціальну базу даних OLAP або залишені в реляційному сховищі. Найважливішим його елементом є метадані, тобто інформація про структуру, розміщення та трансформацію даних. Завдяки ним забезпечується ефективна взаємодія різних компонентів сховища [2].

Компоненти, що входять в типове сховище, представлені на рис. 1.

Сховище даних складається з наступних компонентів [2]:

- ПЗ проміжного шару, що забезпечує мережевий доступ і доступ до баз даних. Сюди відносяться мережні та комунікаційні протоколи, драйвери, системи обміну повідомленнями тощо;

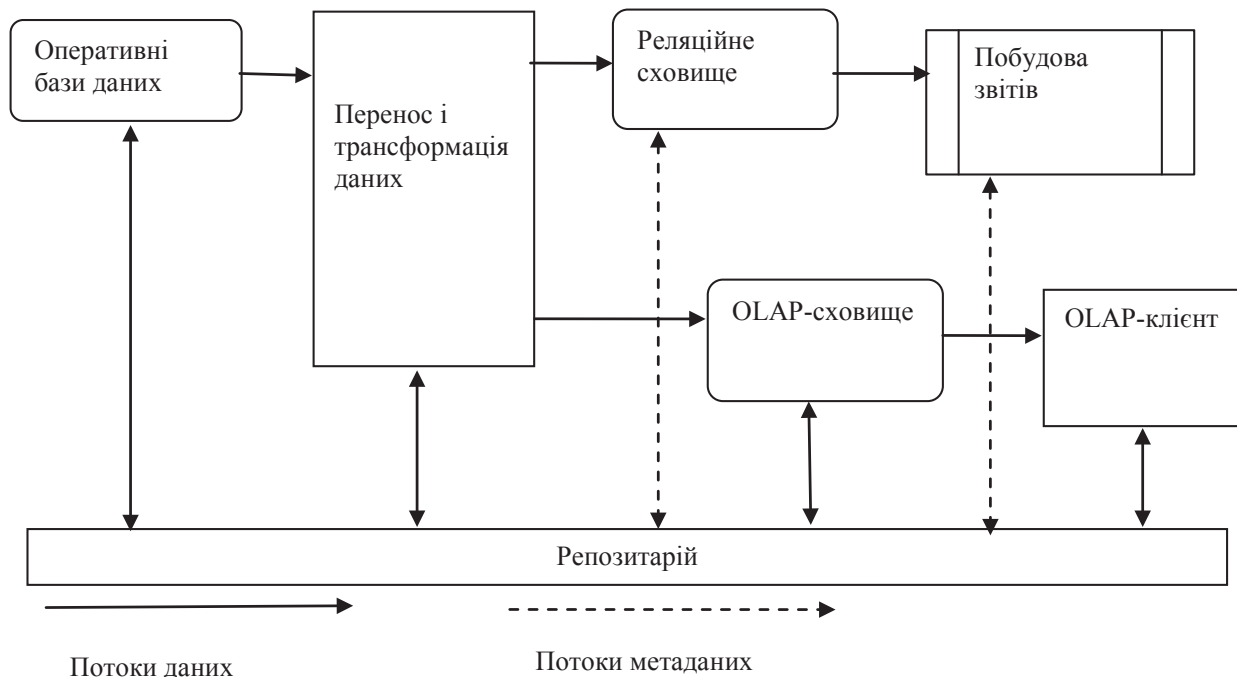


Рис. 1 – Структура сховища даних

– транзакційні БД і зовнішні джерела інформації використовуються у зв'язку з тим, що бази даних OLTP-систем історично призначалися для ефективної обробки структур даних у відносно невеликому числі чітко визначених транзакцій. Через обмеження цільової спрямованості «облікових» систем застосовувані в них структури даних погано підходять для систем підтримки прийняття рішень. Крім того, вік багатьох встановлених OLTP-систем досягає 10 – 15 років;

– рівень доступу до даних визначає програмне забезпечення, яке відноситься до цього рівня, забезпечує спілкування кінцевих користувачів з інформаційним сховищем і завантаження потрібних даних з транзакційних систем. Зараз універсальною мовою спілкування служить мова структурованих запитів (SQL);

– завантаження та попередня обробка передбачає набір засобів для завантаження даних з OLTP-систем та зовнішніх джерел. Виконується, як правило, у поєднанні з додатковою обробкою: перевіркою даних на чистоту, консолідацією, форматуванням, фільтрацією тощо;

– інформаційне сховище являє собою ядро всієї системи – один або декілька серверів БД;

– метадані (репозиторій, «дані про дані») відіграють роль довідника, що містить відомості про джерела первинних даних, алгоритми обробки, якими вихідні дані були оброблені тощо;

– рівень інформаційного доступу забезпечує безпосереднє спілкування користувача з даними OLAP за допомогою стандартних систем маніпулювання, аналізу і надання даних типу MS Excel, MS Access, Lotus 1-2-3 тощо;

– рівень керування (адміністрування) відслідковує виконання процедур, необхідних для поновлення інформаційного сховища чи підтримання його задовільного стану. Тут програмується процедури підкачки даних, перебудови індексів, виконання підсумкових (підсумовуючих) розрахунків, реплікації даних, побудови звітів, формування повідомлень користувачам, контролю цілісності тощо.

Варіанти реалізації сховищ даних [2]:

– віртуальне сховище даних має в основі – репозиторій метаданих, які описують джерела інформації (бази даних транзакційних систем, зовнішні файли тощо), SQL-запити для їх зчитування та процедури обробки та надання інформації. Безпосередній доступ

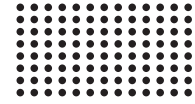
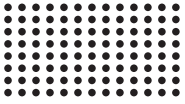
до останніх забезпечує програмне забезпечення проміжного шару. У цьому випадку надмірність даних нульова. Кінцеві користувачі фактично працюють з транзакційними системами безпосередньо зі всіма плюсами (доступ до «живих» даних в реальному часі) і мінусами (інтенсивний мережевий трафік, зниження продуктивності OLTP-систем та реальна загроза їх працездатності внаслідок невдалих дій користувачів-аналітиків);

– вітрини даних (Data Mart) за своїм визначенням – це набір тематично пов'язаних баз даних, які містять інформацію, що відноситься до окремих аспектів діяльності організації. По суті справи, вітрина даних – це полегшений варіант сховища даних, що містить лише тематично об'єднані дані. Цільова база даних максимально наближена до кінцевого користувача й може містити тематично орієнтовані агрегатні дані. Вітрина даних істотно менша за обсягом, ніж корпоративне сховище даних, і для його реалізації не потрібна особливо потужна обчислювальна техніка [2];

– глобальне сховище даних поєднує концепції сховища та вітрини даних в одній реалізації та використовує сховище даних в якості єдиного джерела інтегрованих даних для всіх вітрин даних. Тоді природною стає трирівнева архітектура системи.

На першому рівні реалізується корпоративне сховище даних на основі однієї з розвинених сучасних реляційних СКБД. Це сховище інтегрованих в основному деталізованих даних. Реляційні СКБД забезпечують ефективне збереження та управління даними дуже великого обсягу, але не дуже добре відповідають потребам OLAP-систем, зокрема, у зв'язку з вимогою багатовимірного представлення даних.

На другому рівні підтримуються вітрини даних на основі багатовимірної системи управління базами даних (прикладом такої системи є Oracle Express Server). Такі СКБД майже ідеально підходять для цілей розробки OLAP-систем, але поки що не дозволяють зберігати надвеликі обсяги даних. В цьому випадку це й не потрібно, оскільки мова йде про вітрини даних. Зауважимо, що вітрина даних не обов'язково повинна бути повністю сформована. Вона може містити посилання на сховище даних і добирати звіти інформацію по мірі надходження запитів. Звичайно, це дещо збільшує час відгуку, але натомість знімає проблему обмеженого обсягу багатовимірної бази даних [3, 4].



Нарешті, на третьому рівні знаходяться клієнтські робочі місця кінцевих користувачів, на яких встановлюються засоби оперативного аналізу даних.

При зберіганні даних у багатовимірних структурах виникає потенційна проблема «розбухання» за рахунок зберігання порожніх значень. Адже якщо в багатовимірному масиві зарезервовано місце під всі можливі комбінації міток вимірювань, а реально заповнена лише мала частина (наприклад, ряд продуктів використовується тільки в невеликому числі регіонів), тоді більша частина куба буде порожньою, хоча місце буде зайняте. Сучасні OLAP-продукти дозволяють справлятися з цією проблемою.

До сховищ даних застосовуються такі основні методологічні підходи [3]:

- «згори до низу» (Top down design);
- «знизу вгору» (Bottom down design);
- «з середини» (Middle of design).

На вибір підходу до реалізації сховища даних впливають такі чинники: стан поточної інформаційної інфраструктури організації, наявні ресурси; вимоги щодо повернення інвестицій; потреби організації в інтегрованому уявленні даних про свою діяльність; швидкість реалізації.

Вибір методологічного підходу до реалізації сховищ даних впливає на обсяг і ретельність проектування.

Підхід «згори до низу» вимагає детального планування та проектування сховища даних в рамках ІТ-проекту до початку виконання проекту. Це пов'язано з тим, що необхідно залучати всіх потенційних користувачів сховища даних для з'ясування їхніх інформаційних потреб в аналітичній обробці даних, приймати рішення про джерела даних, безпеку, структури даних, стандарти даних. Всі ці роботи повинні бути задокументовані та узгоджені. При цьому підході модель сховища даних повинна бути розроблена до початку реалізації. Зазвичай такий підхід практикують при створенні глобального сховища даних. Якщо кіоски даних включаються в конфігурацію, то вони можуть бути побудовані пізніше.

Перевагою такого підходу є отримання більш узгоджених визначень даних і бізнес-правил організації на самому початку роботи над створенням сховища даних. Вартість початкового планування та проектування може виявитися досить високою. Для цього підходу характерні великі витрати часу, що відкладає

початок реалізації та затримує повернення інвестицій. Підхід «згори до низу» добре застосовувати в організаціях з чітко організованою інформаційно-обчислювальною структурою, коли програмно-апаратна платформа визначена й існують злагоджено працюючі джерела даних.

При використанні підходу «знизу вгору» починають з планування та проектування кіосків даних підрозділів без попередньої розробки глобальної інформаційно-обчислювальної інфраструктури організації. Це не означає, що така глобальна інфраструктура не буде розроблена пізніше. Такий підхід є більш прийнятним у багатьох випадках, оскільки він швидше призводить до кінцевих результатів. У нього є і недоліки: дані можуть дублюватися та бути неузгодженими в різних кіосках даних. Щоб уникнути цього, необхідно ретельне планування та проектування.

Підхід «проектування з середини» є комбінацією перерахованих вище підходів, які застосовуються наче по спіралі. Спочатку створюється ядро системи (підхід «згори до низу»), а потім воно поетапно нарощується за рахунок додавання нової або додаткової функціональності (підхід «знизу вгору»). Таким чином, на кожному витку спіралі може бути використаний кожен з двох зазначених вище підходів [24].

Існують й інші комбінації. Вибір підходу до реалізації сховища даних поряд з вибором архітектури сховища даних визначає тактичні рішення в проектуванні та управлінні проектом створення системи збереження даних. До таких рішень відносяться планування реалізацією та управління проектом.

Для логічного проектування реляційних сховищ даних застосовуються такі методи:

- Метод моделювання «сутність-зв'язок» (ER modeling) дає абстрактну модель предметної області, використовуючи в такому значенні: сутності (entities), взаємозв'язки (relationships) між сутностями і атрибути (attributes) для подання властивостей сутностей і взаємозв'язків.

- Метод багатовимірного моделювання (Dimensional modeling) дає абстрактну модель предметної області, використовуючи в такому значенні: показники або метрики (measures), факти (facts) і вимірювання (dimensions).

- Методи моделювання тимчасових даних (Temporal data modeling) дають абстрактну модель фра-

гмента предметної області, що представляє тимчасові ряди даних, і використовують у такому значенні: тимчасові мітки (timestamps), часовий ряд (time series), дата, діапазон дат, класи.

- Метод моделювання «звід даних» (Data Vault) дає абстрактну модель фрагмента предметної області, ґрунтуючись на математичних принципах нормалізації відносин, і використовує в такому значенні: сутність-концентратори (Hub Entities), що зв'язують суті (Link Entities), сутності-сателіти (Satellite Entities).

Результатом моделювання методом «сутність-зв'язок», або ER-моделювання, є ER-модель. ER-модель представляється за допомогою ER-діаграм, які є графічним представленням для абстрагування даних у вигляді сутностей, взаємозв'язків і атрибутів. Таким чином, семантика предметної області представляється в ER-моделі в термінах суб'єктивних засобів опису – сутностей, атрибутів, ідентифікаторів сутностей, супертипу, підтипів тощо.

Сутність предметної області є результатом абстрагування реального об'єкта шляхом виділення та фіксації набору його властивостей. Таким чином, сутність представляє клас об'єктів, який є результатом абстрагування реального об'єкта. Зазвичай вони позначаються іменником природної мови. Сутність описується за допомогою даних, іменованих властивостями або атрибутами (attributes) сутності. Як правило, атрибути є визначеннями у висловленні про сутність і позначаються іменниками природної мови. Сутності вступають в зв'язку один з одним через свої атрибути. Кожна група атрибутів, що описують один реальний прояв сутності, являє собою екземпляр сутності (instance). Іншими словами, примірник сутності – це реалізації сутності, що відрізняються одна від одної й допускають однозначну ідентифікацію. Іменування суті в однині полегшує в подальшому читання моделі. Фактично, ім'я сутності дається по імені її примірника.

Одним з основних комп'ютерних способів розпізнавання сутностей в інформаційних системах є присвоєння сутностям ідентифікаторів (Entity identifier). Часто ідентифікатор сутності називають ключем. Завдання вибору ідентифікатора суті є семантично суб'єктивним завданням. Оскільки сутність визначається набором своїх атрибутів, для кожної сутності доцільно виділити таку підмножину атрибутів, яка однозначно ідентифікує цю сутність. Деякі суті мають природні ідентифікатори.

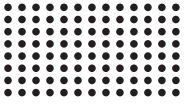
Наприклад, природним ідентифікатором рахунку-фактури є його номер. Ідентифікатори суті можуть бути складними – що складаються з декількох атрибутів, і атомарними – що складаються з одного атрибута сутності. Унікальний ідентифікатор сутності – це атрибут сутності, що дозволяє відрізнити одну сутність від іншої. Якщо сутність має кілька унікальних ідентифікаторів, так званих можливих ключів, то проектувальник повинен обрати первинний ключ сутності.

Розрізняють однозначні та багатозначні атрибути. Однозначними є атрибути, які в межах конкретного екземпляра сутності мають тільки одне значення. В іншому випадку вони вважаються багатозначними. Важливим моментом вивчення моделі предметної області проектувальником є виділення багатозначних атрибутів сутності. Це пов'язано з тим, що реляційна модель не підтримує багатозначних атрибутів і вони повинні бути дозволені на наступних стадіях проектування [5].

Кожен атрибут має домен (domain). Домен – це вираз, який визначає значення, дозволені для цього атрибута. Іншими словами, домен – це область значень атрибута. Для кожного атрибута сутності повинен бути визначений домен. На рівні логічного моделювання даних призначення домену атрибуту носить загальний характер. Наприклад, атрибут текстовий, числовий, бінарний, дата або «не визначений». В останньому випадку аналітик повинен дати опис домену. На наступних стадіях тип домена конкретизується, сенс поняття домену в фізичній моделі сховища даних за допомогою механізму обмеження домену, а СУБД не розуміє невизначених доменів.

Сутності не існують окремо одна від одної. Між ними є реальні відносини (Relationship), які повинні бути відображені в моделі предметної області. При виділенні відносин акцент робиться на фіксацію зв'язків та їхніх характеристик. Ставлення (зв'язок) являє собою з'єднання (взаємовідношення) між двома або більше сутностями. Кожен зв'язок реалізується через значення атрибутів сутностей. Зазвичай зв'язок позначається дієсловом. Кожний зв'язок також повинен мати свій унікальний ідентифікатор зв'язку [5].

У реляційній моделі відносини реалізуються тільки через обмеження цілісності по зовнішньому ключу. Вибір ключів сутностей – одне з найважливіших проектних рішень, яке належить зробити проектувальнику при переході до фізичної моделі бази даних.



Зв'язки характеризуються ступенем зв'язку і класом приналежності сутності до зв'язку. Ступінь (потужність) зв'язку – це відношення числа сутностей, що беруть участь в утворенні зв'язку. Наприклад, «один до одного», «один до багатьох», «багато до багатьох». На рівні логічної моделі допускається невизначений або невіршений зв'язок. Клас приналежності сутності – це характер участі сутності в зв'язку. Розрізняють обов'язкові та необов'язкові класи приналежності сутності до зв'язку. Обов'язковим є такий клас приналежності, коли екземпляри сутності беруть участь у встановленні зв'язку в обов'язковому порядку. В іншому випадку сутність належить до необов'язкового класу приналежності.

Відносини, що зв'язують сутність саму з собою, називаються рефлексивними. Типовим прикладом рефлексивних відносин є визначення структури підпорядкованості щодо «Співробітники». Рефлексивні відносини найчастіше відображають ієрархічні відносини всередині структури даних. З точки зору відносин виокремлюють слабкі сутності (weak). Слабкі суті – це сутності, які не можуть бути присутніми в базі даних, поки не існує пов'язаного з нею примірника іншої сутності. Прикладом такої сутності є замовлення, яке не може існувати без клієнта. Слабкі сутності мають обов'язковий клас приналежності, і ступінь зв'язку такої сутності не може дорівнювати нулю. Зв'язок «замовлення-клієнт» є обов'язковим.

Багатовимірне моделювання (Dimensional modeling) [5] простіше для розуміння, ніж ER-моделювання. Багатовимірне моделювання є методом моделювання та візуалізації даних як множини числових або лінгвістичних показників або параметрів (measures), які описують загальні аспекти діяльності організації. Як правило, при багатовимірному моделюванні основна увага фокусується на числових даних, таких як число продажів, баланс, прибуток, вага, або на об'єктах, які можна перерахувати, таких як статті, патенти, книги.

Багатовимірне моделювання має багато спільного з моделюванням методом «сутність-зв'язок» для реляційної моделі, але відрізняється цілями. Реляційна модель акцентується на цілісності та ефективності введення даних. Багатовимірна модель (Dimensional model) орієнтована в першу чергу на виконання складних запитів до БД [5].

Метод багатовимірного моделювання базується на таких основних поняттях: факти, атрибути, вимірювання, параметри (метрики), ієрархія, гранулювання.

Факт (fact) – це набір пов'язаних елементів даних, що містять метрики і описові дані. Кожен факт зазвичай представляє елемент даних, чисельно описує діяльність організації, бізнес-операцію або подію, яка може бути використана для аналізу діяльності організації або бізнес-процесів. В сховищах даних факти зберігаються в базових таблицях реляційної БД. Наприклад, вартість товару, кількість одиниць товару тощо.

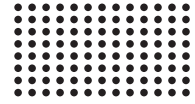
Атрибут (Attribute) – це опис характеристики реального об'єкта предметної області. Як правило, атрибут містить заздалегідь відоме значення, що характеризує факт. Зазвичай атрибути представляються текстовими полями з дискретними значеннями. Наприклад, габарити упаковки товару, запах товару.

Вимірювання (dimension) – це інтерпретація факту з деякою точки зору в реальному світі. Вимірювання, подібно атрибутам, містять текстові значення, які сильно пов'язані за змістом між собою. Зазвичай вимірювання представляються як осі багатовимірного простору, точками якого є пов'язані з ними факти. У багатовимірній моделі кожен факт пов'язаний з однією або декількома осями. Вимірювання зазвичай представляють нечислові, лінгвістичні змінні, такі як філії організації, співробітники організації, покупці тощо.

Наприклад, при аналізі продажів продукції, виробленої або тієї, яка продається організацією, такими вимірами зазвичай вступають час, покупці, продавці, місце продажу або складування товару.

Вимірювання задаються перерахуванням своїх елементів (members). Елемент вимірювання (dimensional member) – унікальне ім'я або ідентифікатор (лінгвістична змінна), яка використовується для визначення позиції елемента. Наприклад, вимір «Час» може містити такі елементи: «всі місяці», «квартали», «роки».

Часто елементи вимірювання перебувають у відношенні «частина-ціле» або «батько-нащадок», що дозволяє ввести на вимірі одну або кілька ієрархій. Кожна ієрархія може мати кілька рівнів ієрархії (hierarchy levels). Кожен елемент вимірювання повинен належати тільки одному рівню ієрархії, породжуючи таким чином розбиття на підмножини. Прикладом може служити ієрархія на вимірі «Час»: рік, півріччя, квартали, місяці та дні. Елемент вимірювання «тиждень» може



належати двом місяцям, тому для нього слід визначити іншу ієрархію.

Параметр, метрика або показник (measure) – це числова характеристика факту, який визначає ефективність діяльності або бізнес-дії організації з точки зору вимірювання. Як правило, метрика містить заздалегідь невідоме значення характеристики факту. Конкретні значення метрики описуються за допомогою змінних.

Гранулювання (Granularity) – це рівень деталізації даних, що зберігаються в сховищі даних. Наприклад, щоденні обсяги продажів.

З точки зору взаємозв'язку вимірів і фактів останні можна розбити на такі класи [6]:

- адитивні факти (Additive facts). Це факти, які має сенс використовувати з будь-якими вимірами для виконання операцій додавання з метою отримання будь-якого значимого результату. Наприклад, дискретні числові показники активності діяльності, такі як кількість продажів, обсяг продажів тощо;

- напівадитивні факти (Semiadditive facts). Це факти, які має сенс використовувати спільно з деякими вимірами для виконання операцій додавання з метою отримання будь-якого значимого результату. Наприклад, числові показники інтенсивності, такі як залишок на рахунку, рівень запасів на складі тощо;

- неадитивні факти (Non-additive facts). Це факти, які має сенс використовувати спільно з будь-яким виміром для виконання операцій додавання з метою отримання будь-якого значимого результату. Наприклад, вимір кімнатної температури;

- числові виміри інтенсивності (Numerical Measures of Intensity). Це факти, що є неадитивними за часом, допускають агрегацію та підсумовування по деякому числу тимчасових періодів. Наприклад, залишок на рахунку.

Існують кілька схем для багатовимірного моделювання даних. Дві з них вважаються основними: схема «зірка» (star schema) і схема «сніжинка» (snowflake schema). У складніших випадках використовуються так звані «багатозіркові» схеми або схема з декількома таблицями фактів [7].

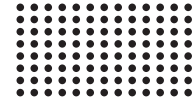
Схема «зірка» має одну таблицю фактів і кілька таблиць вимірів. Таблиці вимірювань є денормалізованими. Схема «сніжинка» має одну таблицю фактів і кілька нормалізованих таблиць вимірів. Схема «зірка»

має ті ж самі елементи, що діаграми «сутність-зв'язок». Це – сутності, атрибути, первинні та зовнішні ключі, взаємозв'язки, кардинальність зв'язку.

Метод моделювання «Зведення даних» (Data Vault), за визначенням, є орієнтованим на деталі набором нормалізованих пов'язаних таблиць, які забезпечують інформаційну підтримку однієї або більше предметних областей діяльності організації. Цей підхід є комбінацією методики реляційного проектування (до третьої нормальної форми – 3NF) і методики багатовимірного проектування. Метод моделювання «Зведення даних» був розроблений для створення моделей даних глобальних сховищ даних масштабу підприємства. Він заснований на математичних принципах, які підтримують нормалізовані моделі даних. По суті модель «Зведення даних» відповідає нормалізованій до 3NF схемою «зірка», включаючи вимірювання, зв'язку «багато до багатьох» і таблиці стандартної структури. Різниця в детальнішому поданні взаємозв'язків і елементів даних, структурованих і деталізованих у тимчасову зміну. Цей метод проектування був розроблений, щоб об'єднати гнучкість структур обробки даних OLTP-систем з потужністю аналітичної обробки даних в OLAP-системах. Він є масштабованим і легко адаптованим методом розробки структур даних для вирішення задач аналізу даних в масштабах підприємства [8].

Модель проектування «Зведення даних», аналогічно методам багатовимірного моделювання або «сутність-зв'язок», містить ряд структурних компонент, новими з яких є сутності-концентратори, або хаби, сутності-зв'язки і сутності-сателіти. Проектування цим методом фокусується на функціональних предметних областях діяльності організації. Кожна така область характеризується бізнес-ключем і представляється в концентраторі первинним ключем. Сутності-зв'язки забезпечують інтеграцію операцій між хабами. Сутності-сателіти забезпечують контекст первинного ключа хаба. Кожна з цих сутностей сконструйована для забезпечення максимальної гнучкості та масштабованості моделі даних сховища даних масштабу підприємства.

Сутності-концентратори (Hub Entities), або просто хаби (hubs), є таблицею, яка містить мінімальний список бізнес-ключів (натуральних ключів). Це ключі, які використовуються організацією в кожній щоденній операції: наприклад, номер рахунку, табельний



номер співробітника, номер покупця, номер виробу і номер автомобіля. Якщо в процесі діяльності такий ключ був втрачений, то, як правило, губляться і посилення на контекст, і супутня інформація. Сутності-концентратори не можуть бути пов'язані відношенням «один до багатьох» (батько-нащадок). Для побудови взаємозв'язків між концентраторами використовуються суті-зв'язки. Сутність-зв'язок (Link Entity) є фізичним представленням взаємозв'язку «багато до багатьох» в 3NF. Зв'язок є взаємовідношенням або операцією між двома або більше бізнес-компонентами або бізнес-ключами.

Сутності-сателіти (Satellite Entities) містять описову інформацію про ключі концентраторів, а саме коли, чому, що, де і хто створює операції та бізнес-ключі. Наприклад, на відміну від номера автомобіля, його колір, марка тощо, можуть змінюватися в часі, а, отже, структура даних повинна відображати ці зміни на кожному рівні структурування інформації (гранулювання) [8].

Сутність-міст (Bridge) містить тимчасові мітки останнього завантаження. Ця сутність подібна суті «Момент часу», але охоплює всю предметну область або схему даних [8].

Бізнес-користувачі часто хочуть бачити дані, згруповані по-різному. У найпростішому випадку один підрозділ (наприклад, відділ маркетингу) має свою ієрархію покупців, а інший підрозділ (наприклад, відділ продажів) має іншу ієрархію тих же покупців. Можна включити обидві ієрархії в вимір «Покупець». Однак кілька ієрархій, вбудованих прямо у вимір, зроблять його малоприслужним для використання.

Бізнес-вимога більш гнучкої реалізації додаткових ієрархій виникає тоді, коли кільком підрозділам необхідно групувати ті ж дані за різними схемами класифікації в кількох різних варіантах. В такому випадку необхідно попрацювати з користувачами і визначити найбільш поширене угруповання даних. Це угруповання стане стандартною ієрархією, яка використовується за замовчанням, і буде вбудована прямо в основну таблицю виміру. Так само можна вчинити це з кількома найбільш широко використовуваними ієрархіями для простоти роботи користувачів.

Для підтримки додаткових ієрархій в сховищах даних створюється окрема таблиця, за допомогою якої користувач може згрупувати дані по кожній із

наявних ієрархій. Це і є сутність-міст, або таблиця-міст (bridge table) [8].

Для спрощення аналізу і створення звітів проміжна таблиця повинна містити опис та стандартну ієрархію. Стандартна ієрархія стає використовуваною за замовчуванням в усіх попередньо налаштованих звітах, але користувачеві надається можливість переключитися на іншу ієрархію.

Прикладом використання сховищ даних є університетський репозитарій ХНТУ, який створений з використанням програми DSpace.

Проект DSpace створить у світі можливість вибору програмного забезпечення для сховищ, що забезпечує засоби для відкритої інформації та простоти управління.

DSpace – програмне забезпечення, яке обирають академічні, некомерційні та комерційні організації, що створюють відкриті цифрові сховища. Його можна безкоштовно та легко встановити “з коробки” та повністю налаштувати відповідно до потреб будь-якої організації. DSpace зберігає та забезпечує легкий та відкритий доступ до всіх типів цифрового вмісту, включаючи текст, зображення, рухомі зображення, трек та набори даних. Завдячуючи постійно зростаючому співтовариству розробників, що віддані постійному розширенню та вдосконаленню програмного забезпечення, кожна нова версія DSpace перевершує попередню.

DSpace є у вільному доступі як програмне забезпечення з відкритим кодом.

Репозитарій знаходиться в розділі «Мережеві ресурси» сайту ХНТУ (рис. 2)

Репозитарій ХНТУ має декілька розділів, перелік яких представлений на рис. 3.

Інформацію в репозитарії ХНТУ можна переглядати в такому вигляді: за факультетами, за авторами, за предметом, за роком створення (рис. 4).

На кожному факультеті інформацію можна переглядати по кафедрам та авторам (рис. 5).

По кожній кафедрі можна вносити інформацію різного напрямку: матеріали конференцій, монографії, навчальні видання, статті (рис. 6).

Крім того є можливість збереження кваліфікаційних робіт бакалавра та магістра в інституційному репозитарії ХНТУ та пререгляду цієї інформації за спеціальністю, за автором, за предметом дослідження або за роком створення (рис. 7).

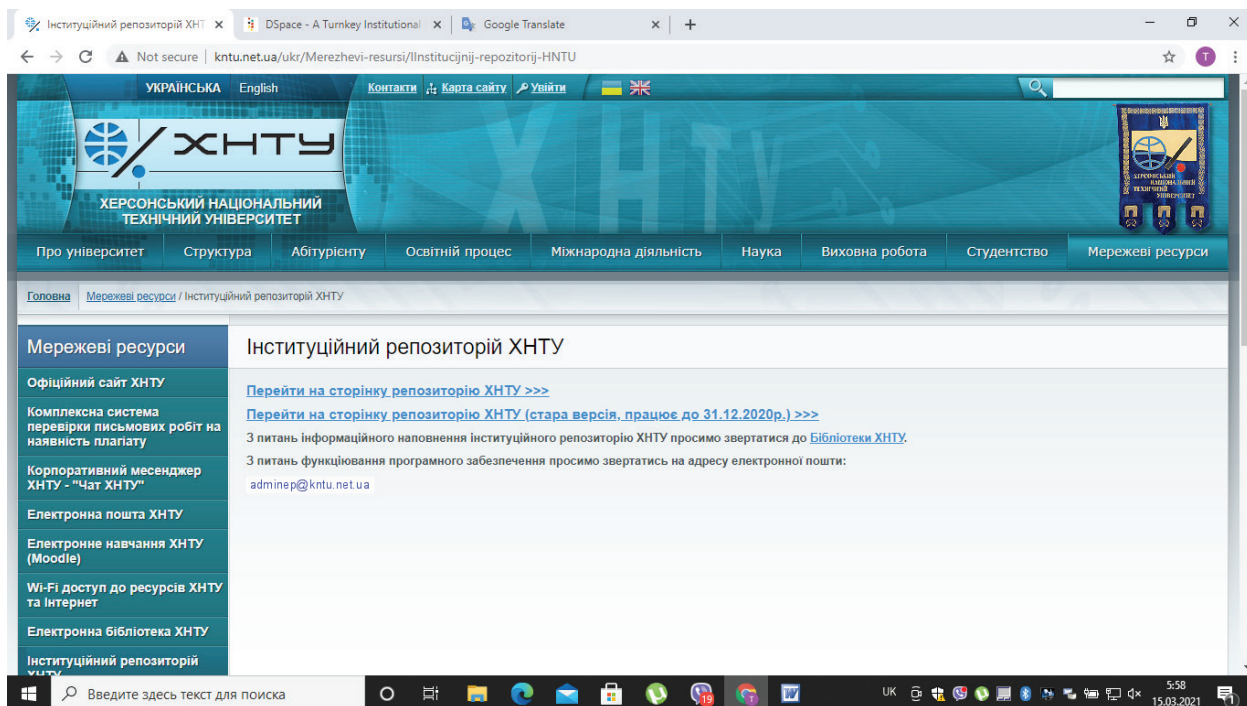


Рис. 2 – Доступ до інституційного репозитарію ХНТУ

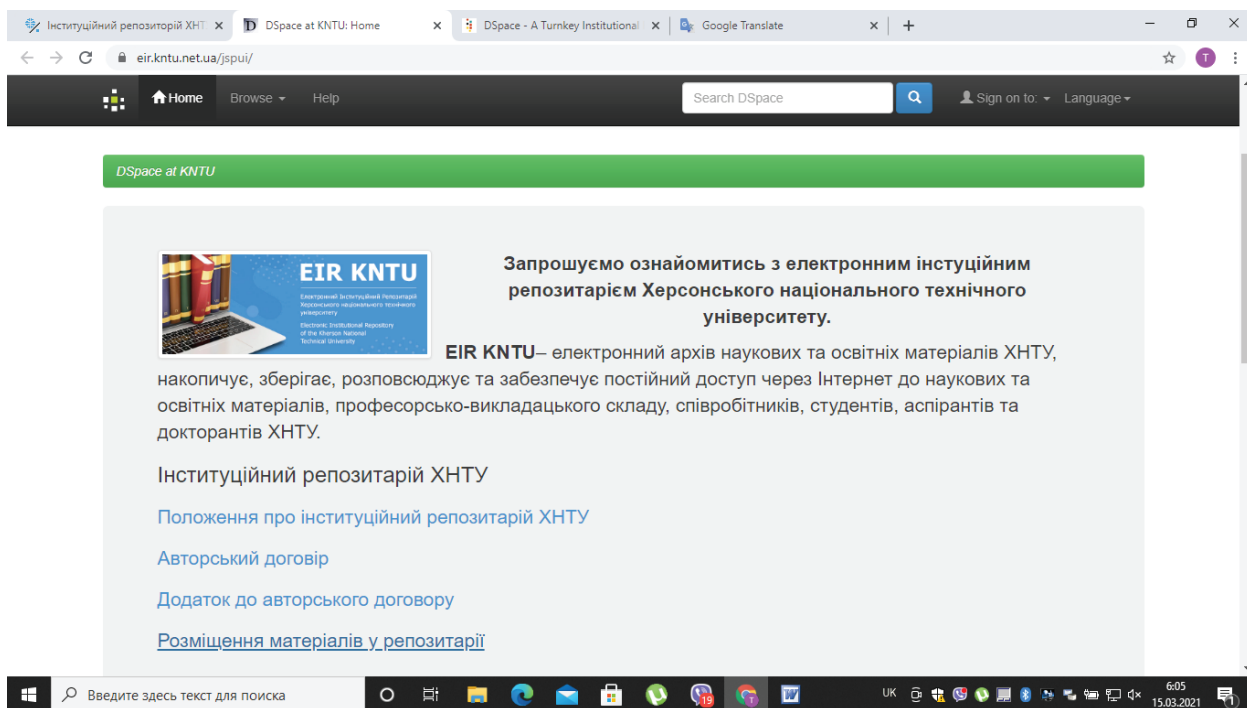


Рис. 3 – Розділи інституційного репозитарію ХНТУ

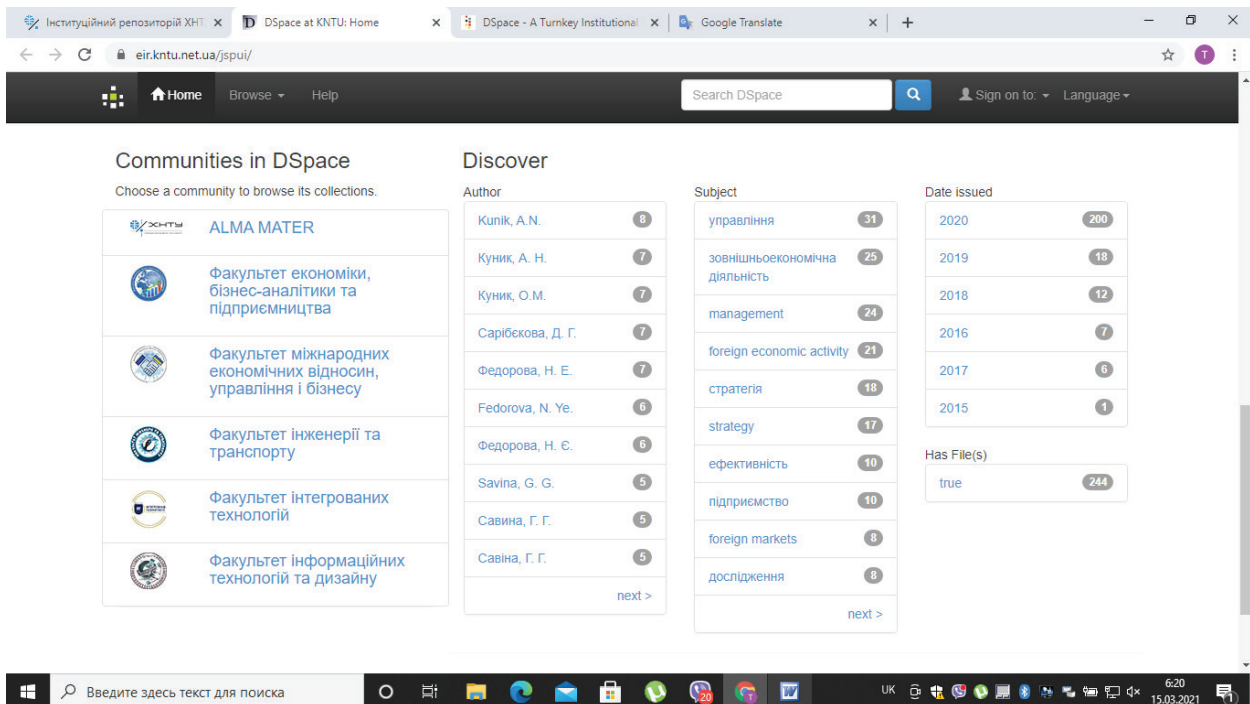
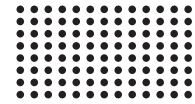


Рис. 4 – Види перегляду інституційного репозитарію ХНТУ

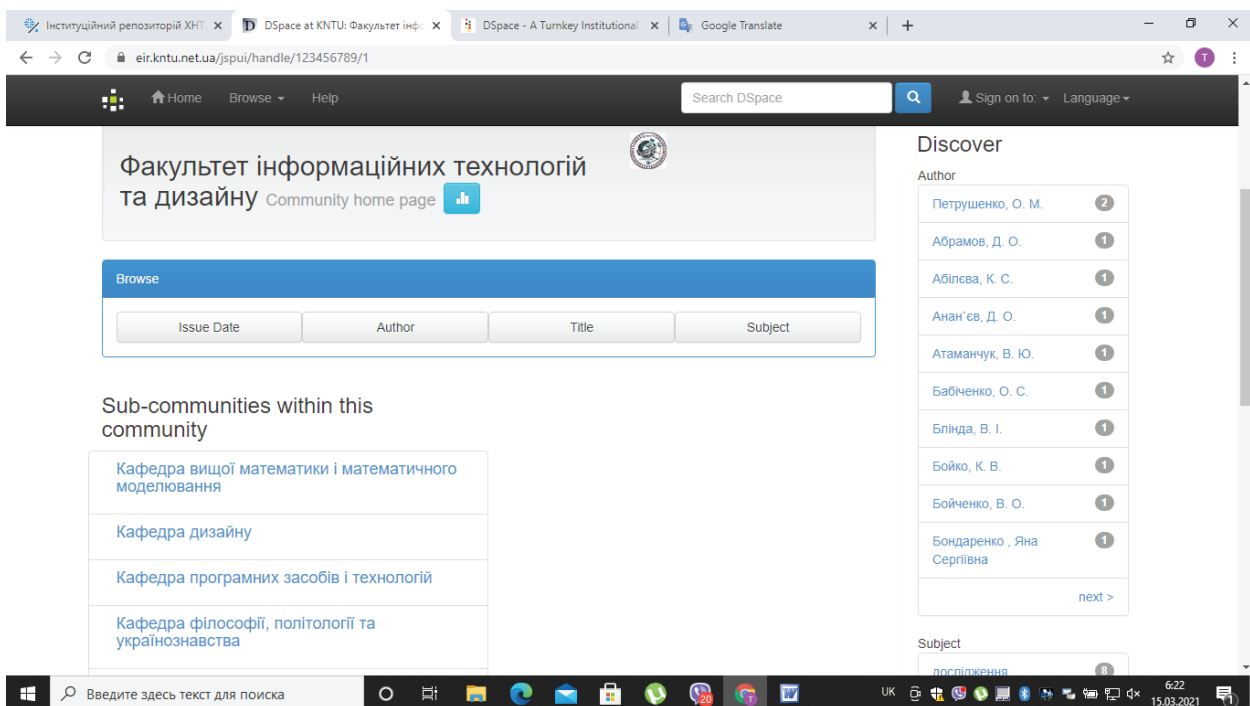


Рис. 5 – Перегляд інформації по факультету в інституційному репозитарії ХНТУ

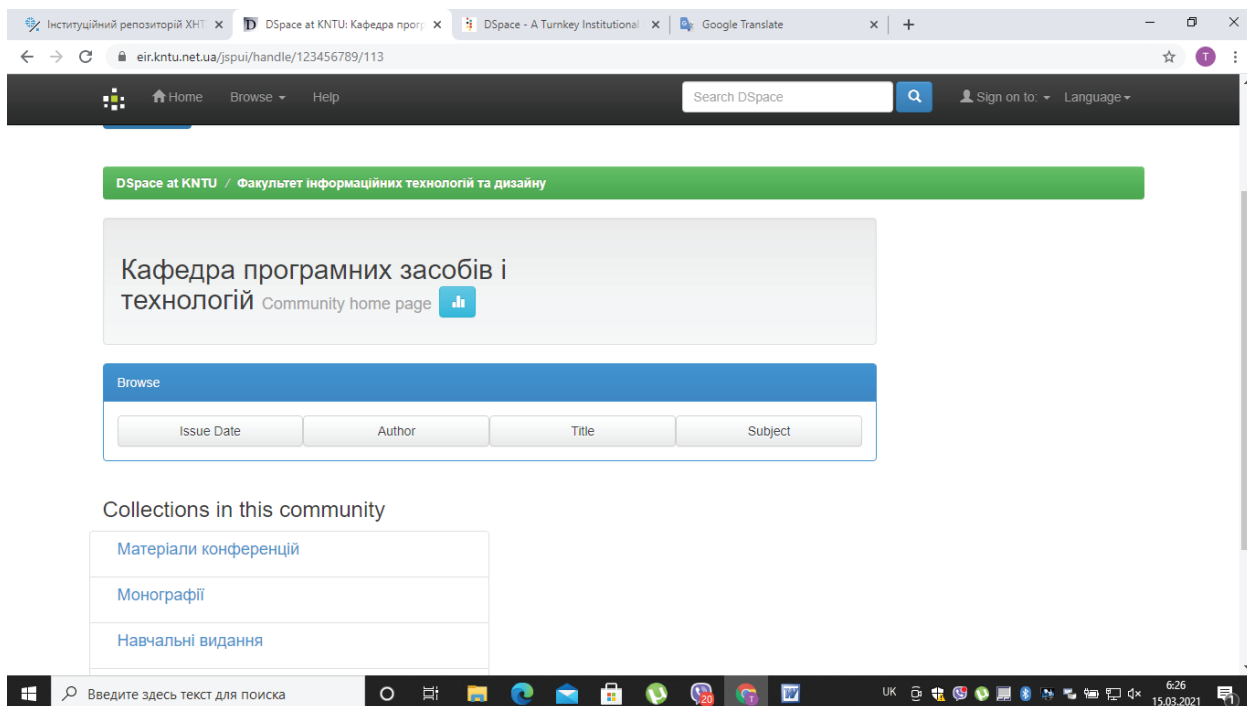


Рис. 6 – Розділи збереження інформації по кафедрі в інституційному репозитарії ХНТУ

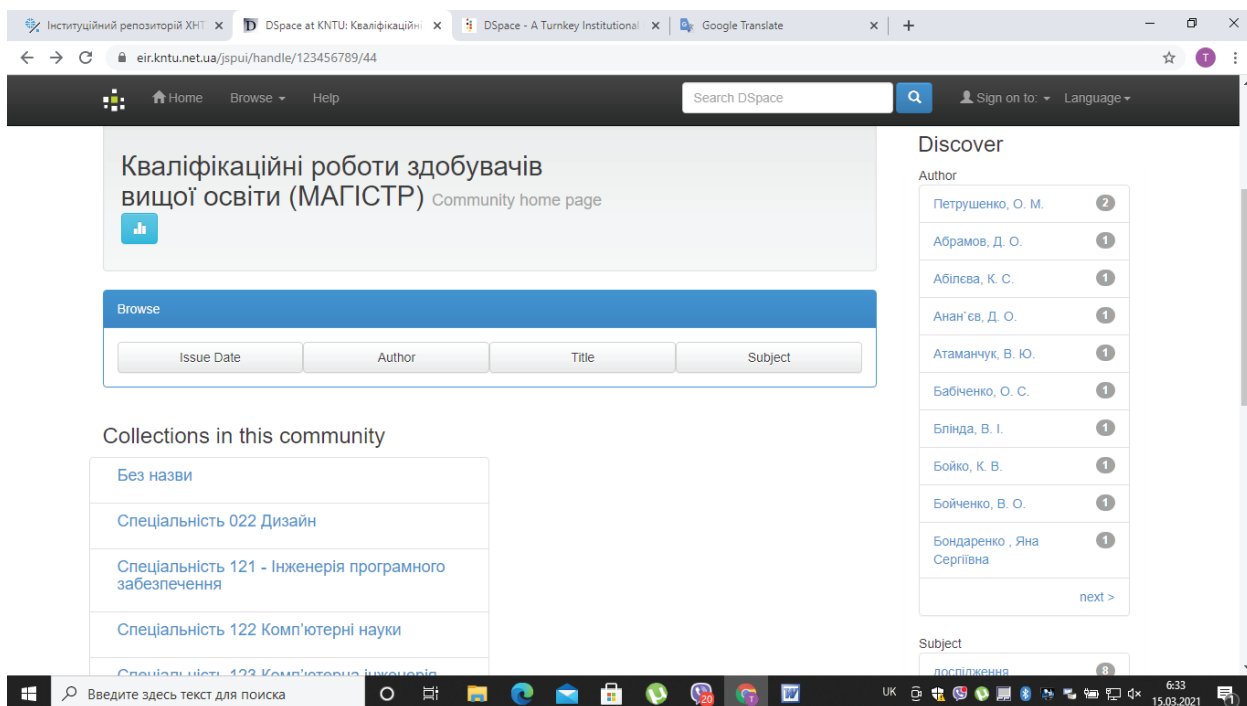
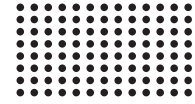
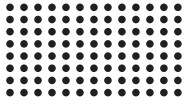


Рис. 7 – Збереження кваліфікаційних робіт магістрів в інституційному репозитарії ХНТУ



Висновки. Досліджено способи і методи збереження інформації в сховищах даних. Наведені основні переваги та недоліки збереження інформації в сховищах даних різними способами. Наведено приклад використання програмного продукту DSpace для збереження інформації в інституційному репозитарії ХНТУ. Програмний

продукт може використовуватися в освітньому процесі у якості наочного подання інформації за факультетами, кафедрами та спеціальностями, для збереження інформації за різними напрямками, що дозволило пришвидшити доступ до потрібної інформації та структурувати її за потрібними напрямками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гайдамакин Н.А. Автоматизированные информационные системы, базы и банки данных. Вводный курс. – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 368 с.
2. Инмон Б. Типы хранилищ данных Перевод Intersoftlab, 2001.
3. Лоуенд Ш., Хилсон С., Хоббс Л. Oracle9iR2. Разработка и эксплуатация хранилищ баз данных. М: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2004. – 592 с.
4. Rainardi V. Building a Data Warehouse: With Examples in SQL Server 2008, APRESS – P. 541
5. Архипенков С., Голубев Д., Максименко О. Хранилища данных. От концепции до внедрения М: Диалог-МИФИ, 2002. – 528 с.
6. Маклаков С.В., Матвеев Д.В. Анализ данных. Генератор отчетов Crystal Reports СПб: БХВ-Петербург, 2003. – 496 с.
7. Маклаков С.В., Туманов В.Е. Проектирование реляционных хранилищ данных М: Диалог-МИФИ, 2007. – С. 333.
8. Спирли Э. Корпоративные хранилища данных. Планирование, разработка, реализация М: Издательский дом «Вильямс», том I, 2001. – С. 400

RESEARCH OF METHODS OF INFORMATION STORAGE IN DATA STORES

Raisa Zakharchenko,

Ph.D., Associate Professor of Software and Technology, Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: zraissa2@gmail.com, ORCID 0000-0003-4650-3095

Leonid Zakharchenko,

graduate student of the Department of Software and Technologies Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
ORCID 0000-0001-9984-696X

Tetyana Kiryushatova,

Ph.D., Associate Professor of Software and Technology, Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: tanyakir1963@gmail.com, ORCID 0000-0002-0000-0065

Kybalko Ihor Ivanovych,

Ph.D., Senior Engineer of Software and Technology, Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: kybalko.igor@kntu.net.ua, ORCID 0000-0002-6634-5277

Abstract. The goal is to study the theoretical and methodological foundations of building an effective data storage for the most rational preservation of information.

Research methods. The methods of scientific research are used in the work such as: experiment, analysis of the results of activity. From theoretical research methods used: analysis, synthesis, comparison.

The main results of the study. Methods and methods of information storage in data storages are investigated. The main types of software and hardware architecture of data storages are considered, their advantages and disadvantages are defined. The result of the study was the classification of methods for storing information, which helps the designer to create a data store with the lowest costs. The main components of the information storage are presented, which made it possible to build a typical data storage structure. Comparative analysis of methods of data storage modeling is carried out, which allows the user to use in practice a more effective method in the design and development of data storage facilities for storing information in organizations and enterprises.

Scientific novelty. The development of information resources and means of access to them, the rapid development of Ukrainian-language Internet content are factors that have changed the way and approach to preserving large amounts of



information. The scientific novelty of this topic is the use of modern data storages for storing information in higher educational institutions.

Practical significance. Every year, the increasing amount of information that needs to be stored and processed has led to the need to design and develop data stores. This topic is very relevant for study nowadays, when data stores are increasingly beginning to be implemented in various spheres of human activity, such as education, agriculture, education, medicine, economics, communication, security of security systems, information processing, etc. The results of the study can be used in the educational process to a clear picture of the advantages and disadvantages of methods of storing information in data stores, the principles of their use in the industrial and non-industrial spheres.

Keywords: *multidimensional modeling, modeling of temporary data, modeling of "data output", scheme "star", scheme "snowflake", diagrams with several tables of facts.*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СОХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ХРАНИЛИЩАХ ДАННЫХ

Раиса Захарченко,

к.т.н., доцент кафедры Программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: zraissa2@gmail.com, ORCID 0000-0003-4650-3095

Леонид Захарченко,

аспирант кафедры Программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
ORCID 0000-0001-9984-696X

Татьяна Кирюшатова,

к.т.н., доцент кафедры Программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: tanyakir1963@gmail.com, ORCID 0000-0002-0000-0065

Кибалко Игорь Иванович,

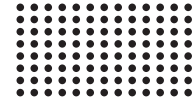
к.т.н., ведущий инженер кафедры Программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: kybalko.igor@kntu.net.ua, ORCID 0000-0002-6634-5277

Аннотация. Целью является исследование теоретических и методологических основ построения эффективного хранилища данных для наиболее рационального сохранения информации.

Методы исследования. В работе использованы методы научных исследований такие как: эксперимент, анализ результатов деятельности. Из теоретических методов исследования использованы: анализ, синтез, сравнение.

Основные результаты исследования. Исследованы способы и методы сохранения информации в хранилищах данных. Рассмотрены основные типы программно-аппаратной архитектуры хранилищ данных, определены их преимущества и недостатки. Результатом исследования стала классификация методов хранения информации, которая помогает проектировщику создать хранилище данных с наименьшими затратами. Представлены основные компоненты информационного хранилища данных, что позволило построить типовую структуру хранилища данных. Проведен сравнительный анализ методов моделирования хранилищ данных, который позволяет пользователю воспользоваться на практике более эффективным методом при проектировании и разработке хранилищ данных для хранения информации в организациях и на предприятиях.

Научная новизна. Развитие информационных ресурсов и средств доступа к ним, стремительное развитие украиноязычного контента Интернета являются факторами, которые изменили способ и подход к сохранению больших объемов информации. Научной новизной данной темы является использование современных хранилищ данных для хранения информации в высших учебных заведениях.



Практическая значимость. С каждым годом все больший объем информации, которую нужно хранить и обрабатывать привело к необходимости проектирования и разработки хранилищ данных. Данная тема очень актуальна для изучения в наше время, когда хранилища данных все более активно начинают внедряться в различные сферы человеческой деятельности, такие как образование, сельское хозяйство, обучение, медицину, экономику, связь, безопасность охранных систем, обработку информации и т. д. Проведена классификация может стать основой для расширения количества сфер использования хранилищ данных. Результаты исследования можно использовать в учебном процессе для наглядного представления преимуществ и недостатков методов сохранения информации в хранилищах данных, принципов их использования в промышленной и не промышленной сферах.

Ключевые слова: *многомерное моделирование, моделирование временных данных, моделирование «свод данных», схема «звезда», схема «снежинка», схемы с несколькими таблицами фактов.*

REFERENCES:

1. Haidamakyn N.A. Avtomatizirovannye informatsionnye systemy, bazy i banki dannykh. Vvodniy kurs. – М.: Helios ARV, 2002. – 368 p.
2. Inmon B. Tipy khranilishch dannykh Perevod Intersoftlab, 2001.
3. Louend Sh., Khilson S., Khobbs L. Oracle9iR2. Razrabotka i ekspluatatsiya khranilishch baz dannykh. M: KUDITs-OBRAZ, 2004. – 592 p.
4. Rainardi V. Building a Data Warehouse: With Examples in SQL Server 2008, APRESS – 541 p.
5. Arkhipenkov S., Holubev D., Maksimenko O. Khranilishcha dannykh. Ot kontseptsii do vnedreniya M: Dialoh-MIFI, 2002. – 528 p.
6. Maklakov S.V., Matveev D.V. Analiz dannykh. Henerator otchetov Crystal Reports SPb: BKhV-Peterburh, 2003. – 496 p.
7. Maklakov S.V., Tumanov V.E. Proektirovanie reliatsionnykh khranilishch dannykh M: Dialoh-MIFI, 2007. – 333 p.
8. Spirli E. Korporativnye khranilishcha dannykh. Planirovanie, razrabotka, realizatsiya M: Izdatelskiy dom «Vyliams», tom I, 2001. – 400 p.



РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПАСИВНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЗАКРИТОГО ТИПУ

УДК 004:519.81

DOI

Сокол Костянтин Ігорович,

аспірант кафедри програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон, Україна,
E-mail: kostya13sokol@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5155-7202

Огнева Оксана Євгенівна,

кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон, Україна,
E-mail: Oksana_Ognieva@meta.ua, ORCID ID: 0000-0001-6206-0285

Анотація. В умовах постійного зростання цін на енергоресурси, боротьби за поліпшення екології та зменшення частки використання викопних видів палива, актуальності набувають методи підвищення енергоефективності та енергозбереження. Одним із таких методів є застосування пасивних систем опалення – енергетичних систем, в яких процеси приймання, накопичення та використання сонячної енергії для опалення, здійснюються природним шляхом в архітектурно-будівельних елементах будівлі. Використання даних систем дозволяє зменшувати витрати енергоресурсів на опалення та охолодження будівлі до 80 %.

У статті розглянуто пасивні системи опалення закритого типу, їх особливості, основні параметри, переваги над звичайними системами опалення, методи їх моделювання та оптимізації, а також, можливість використання систем комп'ютерного аналізу для створення моделей пасивних систем опалення закритого типу.

Метою даного дослідження є розробка системи комп'ютерного моделювання для оптимізації параметрів пасивної системи опалення закритого типу.

Основні результати дослідження. Запропоновано концептуальну схему оптимізації параметрів пасивної системи опалення закритого типу з використанням систем комп'ютерного моделювання. Показано принцип роботи даної схеми, вказано її вхідні та вихідні параметри. Розглянута схема дозволяє отримувати оптимальні значення основних параметрів системи пасивного опалення, а використання методів комп'ютерного моделювання максимально підвищує точність розрахунків та надає можливість імітації будь-яких умов для детального дослідження розглянутих систем.

Науковою новизною є запропонована концептуальна схема, а зокрема, використання моделювання за допомогою методу обчислювальної гідродинаміки для подальшого аналізу результатів та оптимізації параметрів.

Ключові слова: пасивні системи опалення, моделювання, оптимізація, енергоефективність, теплопередача.

Постановка проблеми. Такі проблеми як постійне підвищення цін на енергоресурси, їх економія, зменшення шкідливих викидів у атмосферу планети, а також, комфорту життя людини ніколи не втрачуть своєї актуальності. Тому дослідження пасивних систем опалення, а саме, процесів теплопередачі в них з метою вирішення всього перерахованого вище зараз є доцільним як ніколи.

Пасивна система опалення – це енергетична система, в якій процеси приймання, накопичення та використання сонячної енергії для опалення, здійснюються природним шляхом в архітектурно-будівельних елементах будівлі. Закритою пасивною системою опалення називають таку, що використовує непрямі методи передачі теплової сонячної енергії до споживача, наприклад, стіну, що виступає у ролі акумулятора теплоти.

Дослідження у сфері пасивних систем опалення не припиняються від 1881 р., коли була запатентована перша подібна система. Останніми роками ця тема залишається популярною, що показують роботи [1-7], де представлені принципи моделювання різних видів таких систем. Зокрема, актуальність зберігається і через появу більш потужних машин, що дозволяють розробляти комп'ютерні моделі, які дають змогу отримувати більш точні результати та виконувати швидкі розрахунки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням та створенням методів розрахунку та проектування пасивних систем опалення займалися такі вчені як Ольгей, Андерсен, Марзія., Лебенс, Балкомб, Байер, Даффі, Бекмен, Мхітарян, Чірась, Бейнбрідж та інші.

Сучасні дослідження одо конструктивних особливостей пасивних систем опалення досліджували Матушка, Ана Брига Са, Хосе Боавентура-Кунья, Жоао-Карлос Ланзінья, Анабела Пайва, Хеленіс М. Сахт, Луїс Браганса, Мануела Алмейда, Розана Карам.

У роботах авторів Челсі Рене Девіс, Чжицзе Ін, Відя Айся, Джоунд Хендрарсакті, Станко Щраков, Антон Стоїлов, Ягоди Блотні, Магдаліни Немш, Шашикант Павар та інших, проведені дослідження процесів теплопередачі в пасивних системах опалення з використанням методів комп'ютерного моделювання, зокрема, методу кінцевих різниць, методу кінцевих елементів та методу обчислювальної гідродинаміки (computational fluid dynamic (CFD)), заснованому, в більшості випадків, на методі кінцевих об'ємів.

Зважаючи на кількість досліджень проведених узагалі та зокрема в останні роки, можна зробити висновок про те, що дослідження у сфері пасивних системах опалення не тільки не припиняються, але й отримали нове дихання з появою можливості застосування комп'ютерного аналізу до них. Тим не менш, залишається ще багато питань, що потребують глибшого вивчення, зокрема, проблема оптимізації параметрів пасивних систем опалення, вирішення якої буде розглянуто в даному дослідженні.

Мета дослідження. Пасивні системи опалення можуть стати одним з елементів вирішення проблеми надмірної залежності від викопних енергоресурсів, адже працюють за рахунок енергії сонця. Для підвищення ефективності використання таких систем, необхідно займатися оптимізацією та до кожного конкретного випадку використання підходити індивідуально. Для того, щоб отримувати максимально наближені дані про перспективу використання пасивних систем опалення, потрібно проводити моделювання їх поведінки за певних умов. Найкращим засобом для цього є аналіз за допомогою комп'ютерних систем (КС).

Отже, метою даного дослідження є розробка системи комп'ютерного моделювання для оптимізації параметрів пасивної системи опалення закритого типу.

Виклад матеріалу дослідження. Розрізняють активні і пасивні системи сонячного теплопостачання будинків. Характерною ознакою активних систем є наявність колектора сонячної енергії, акумулятора теплоти, додаткового джерела енергії, трубопроводів, теплообмінників, насосів або вентиляторів і пристроїв для автоматичного контролю і керування. У пасивних системах роль сонячного колектору й акумулятора теплоти зазвичай виконують самі огорожувальні конструкції будинку, а рух теплоносія (повітря) здійснюється за рахунок природної конвекції без застосування вентилятора [8-9].

Закрита система пасивного опалення – стіна Тромбе показана, на рис. 1 є одним з видів пасивної системи опалення та поєднує у собі об'єднує функції колектору та акумулятора, і також є частиною огорожувальних конструкцій будівлі. Частина південної застлана, за склом – масивна стіна з твердого матеріалу або резервуарів води, пофарбована чорним для кращого поглинання сонячної радіації. Тепло переноситься в приміщення

шляхом випромінювання та конвекції від акумулюючої стіни з боку кімнати, та шляхом примусової або природної конвекції кімнатного повітря через простір між склінням та стіною. Для підвищення ефективності даної системи опалення, у періоди низької інтенсивності сонячної радіації (уночі та за похмурої погоди) необхідно використовувати рухливу ізоляцію для скління в усіх видах клімату, крім м'якого [9].

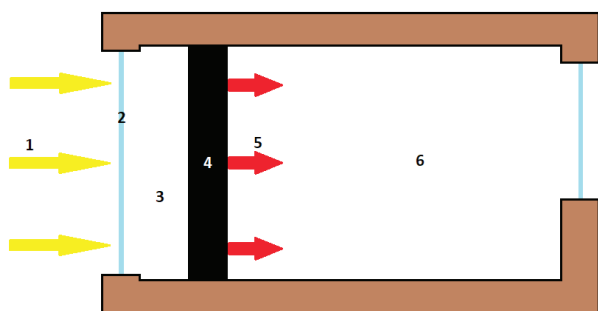


Рис. 1 – Схема пасивної системи опалення закритого типу – стіни Тромбе:

- 1 – сонячні промені; 2 – зовнішнє скління;
- 3 – повітряний прошарок; 4 – теплоакumuлююча стіна;
- 5 – передача тепла від стіни до простору кімнати;
- 6 – простір кімнати

Додатковою перевагою такої системи є те, що її можна використовувати не тільки для опалення, але

й для охолодження будівлі в теплу пору року. У такому разі, принцип роботи змінюється: сонячна ізоляція прибирається в нічний час для того, щоб акумулююча стіна максимально охолодилася, після сходу сонця, ізоляція повертається на місце і не дає стіні нагріватися під дією прямих сонячних променів, а сама стіна у цей час охолоджує кімнату за рахунок накопиченої вночі енергії.

Основними змінними параметрами стіни Тромбе, що стануть вхідними для схеми оптимізації є: кількість шарів скління; товщина повітряного прошарку між склінням і акумулюючою стіною; товщина акумулюючої стіни та матеріал, з якого вона побудована. За допомогою оптимізації цих параметрів можна досягти найкращої енергоефективності для будівлі у будь-якій кліматичній зоні та будь-яких геометричних розмірів. Також, за рахунок зміни цих параметрів, можна налаштовувати систему для будь-якої кліматичної зони, що робить систему надзвичайно універсальною.

Економія енергоресурсів для такої системи опалення може становити до 80 % на опалення та до 80 % на охолодження, це підтверджують джерела [9] та моделювання такої системи у середовищі MATLAB Simulink для кліматичної зони – м. Херсон. На рис. 2 представлено порівняння графіків розподілу температур у будівлі без та з наявністю пасивної системи опалення.

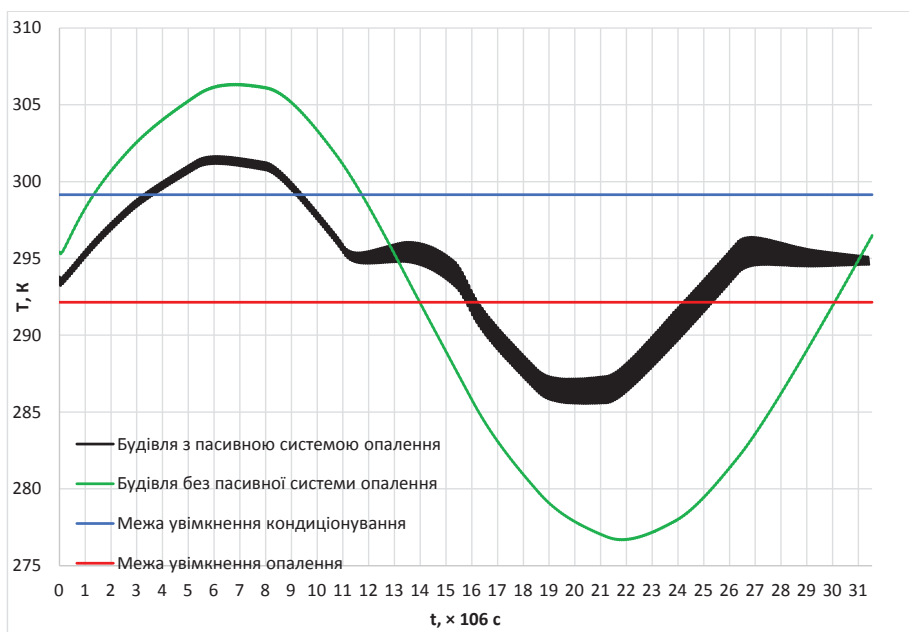
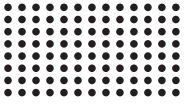


Рис. 2 – Порівняння розподілу температур впродовж року в будівлі без та з наявністю пасивної системи опалення



Найбільш розповсюдженим у питаннях дослідження перенесення потоків, зокрема теплових, методом комп'ютерного моделювання, став метод обчислювальної гідродинаміки, що використовує дискретизацію за методом кінцевих об'ємів. Цей метод заснований на тому, що багато фізичних законів є законами збереження: те, що потрапляє в одну клітину з одного боку, повинно залишати ту саму клітину з іншого боку. Слідуючи цій ідеї, отримується формулювання, що складається з рівнянь збереження потоку, визначених у середньому значенні для клітин [10-18].

Для пасивних систем опалення, метод обчислювальної гідродинаміки має наступні основні кроки:

1. Попередня обробка. Етап попередньої обробки включає в себе створення геометрії пасивної системи опалення, що буде досліджуватися в майбутньому. Складні предмети можуть бути представлені простими геометричними фігурами (елементами).

2. Дискретизація. Пасивна система опалення розділяється на безліч дрібних елементів, з'єднаних вузлами. Сітка кінцевих елементів, як правило, генерується програмою препроцесора. Опис сітки складається з декількох масивів, основними з яких є вузлові координати та елементи зв'язку.

3. Представлення даних про властивості складових/матеріалів.

4. Визначення граничних умов.

5. Розв'язання глобальної системи рівнянь. Для кожного елемента, що утворився під час дискретизації існує своє рівняння, усі вони разом утворюють систему рівнянь, що необхідно вирішити для отримання необхідних результатів.

6. Подальша обробка. Отримавши необхідні дані про розподіл температур, амплітуду добових коливань температур, часову затримку розподілу тепла через акумулюючу стінку тощо, можна проводити подальший аналіз і робити необхідні висновки.

Для аналізу теплових зон зручно використовувати графічні результати моделювання, де кожна з визначених температурних зон відповідатиме певному кольору. Набір таких зон створить теплову карту з легендою, за якою можна буде легко зорієнтуватися в результатах [11-12, 19].

Запропоновану концептуальну схему оптимізації параметрів пасивної системи опалення закритого типу, яка дозволить максимально точно змодельовати процеси

теплопередачі та проаналізувати всі необхідні параметри, наведено на рис. 3. Принцип її роботи наступний:

1. Дослідник задає вхідні дані, що не будуть змінюватися впродовж дослідження: кліматичні дані; матеріал, з якого побудована акумулююча стіна. Матеріал повинен мати відносно високу густину та теплопровідність для того, щоб виконувати функцію акумулятора (найбільш розповсюджений матеріал для будівництва акумулюючих стін – залізобетон).

2. Дослідник задає діапазони вхідних параметрів системи опалення: кількість шарів скління; товщина повітряного прошарку між склінням і акумулюючою стіною; товщина акумулюючої стіни. Вибір діапазонів значень ґрунтується на наступному: кліматичних умовах, для яких буде проводитися дослідження (чим холодніший клімат – тим більше шарів скління та товще акумулююча стіна); архітектурних особливостях будівлі (акумулююча стіна має межу мінімальної товщини через те, що крім опалювальної функції ще й несе навантаження); особливостях розпорядку дня людей, що будуть мешкати в оселі (чим товще акумулююча стіна, тим більшою буде затримка у передачі тепла від неї до кімнати).

3. Оптимізація виконується поступово для кожного з параметрів. Наприклад, для того, щоб отримати оптимальну товщину повітряного прошарку, необхідно прийняти значення інших параметрів за константу, і поступово виконати дослідження для всіх значень товщини повітряного прошарку з заданого діапазону.

4. Пасивна система опалення з обраними параметрами моделюється за допомогою CFD.

5. Проводиться симуляція роботи пасивної системи опалення впродовж року. На цьому етапі отримується графік розподілу температур всередині будівлі впродовж року.

6. Графік розподілу температур аналізується та розраховуються енерговитрати на опалення та кондиціонування, а також, сумарні енерговитрати.

7. Будується залежність сумарних річних енерговитрат від кожного значення обраного діапазону параметрів. Ця залежність перевіряється на наявність екстремумів, значення параметру у точці екстремуму і буде оптимальним.

8. У разі знаходження екстремуму, дослідження обраного параметру припиняється, оптимальне значення зберігається та використовується для дослідження інших параметрів.

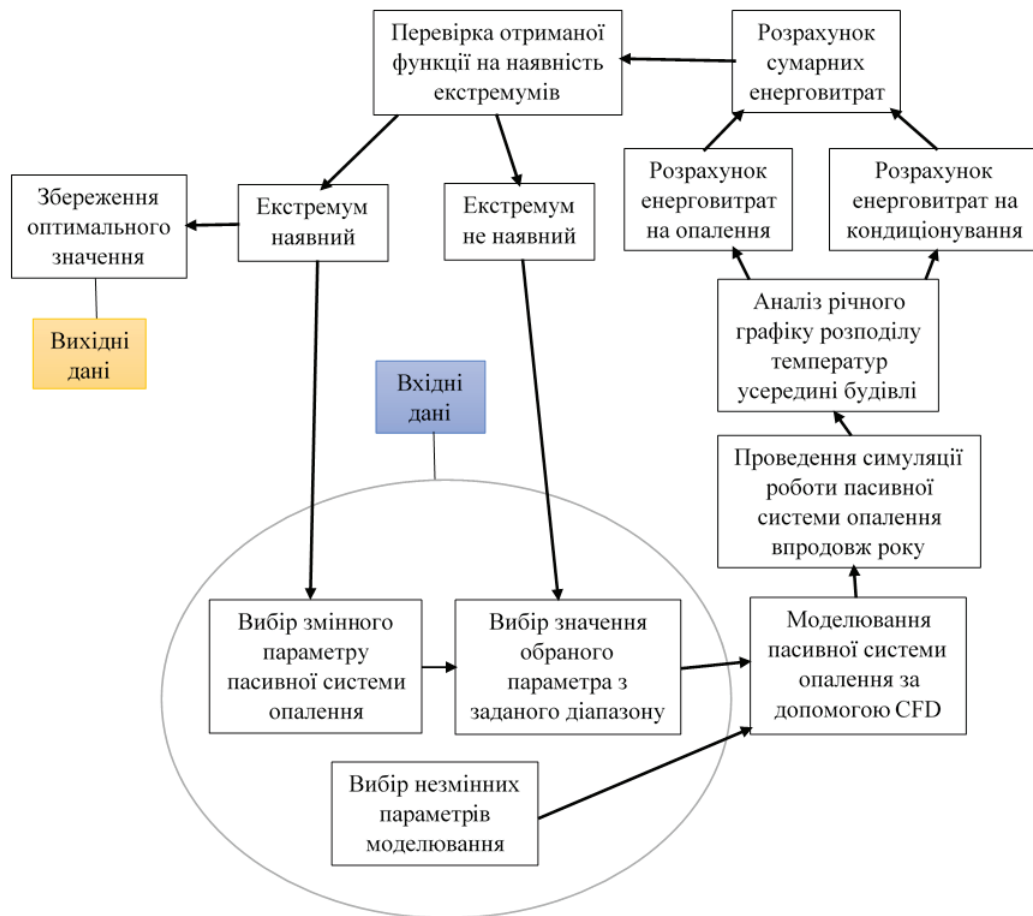


Рис. 3 – Концептуальна схема оптимізації параметрів пасивної системи опалення закритого типу

9. Починається дослідження наступного параметру.

Подібна схема без застосування моделювання за допомогою CFD використовувалася в дослідженні пасивної системи опалення закритого типу для кліматично зони – м. Херсон. За результатами моделювання у середовищі MATLAB Simulink, при сталій кількості шарів скління та товщині акумулюючої стіни, оптимальною товщиною повітряного прошарку з діапазону від 1 до 5 см виявилось – 2 см. Саме при такому значенні загальні енергопотребителі будівлі виявилися мінімальними.

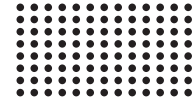
КС, яка реалізує використання запропонованої концептуальної схеми оптимізації параметрів пасивної системи опалення закритого типу дозволить прийняти математично обґрунтовані рішення щодо покращення енергоефективності будівель. Використання сучасних інформаційних технологій дозволить підвищити точність розрахунків та надасть змогу більш наочно представити переваги пасивних систем опалення.

Висновки

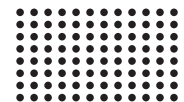
1. Закриті пасивні системи опалення дозволяють значно скоротити витрати енергоресурсів на опалення і кондиціонування будівлі та загалом підвищують комфорт мешканців. Концепція таких систем опалення, робить їх універсальними і можливими для використання в будь-якому кліматі.

2. Використання методу обчислювальної гідродинаміки для дослідження процесів теплопередачі у пасивних системах опалення дозволить максимально точно змоделювати процеси теплопередачі та проаналізувати всі необхідні параметри всередині як власне системи опалення так і простору будівлі, що нею опалюється.

3. Розробка комп'ютерної системи оптимізації параметрів пасивної системи опалення закритого типу на основі запропонованої концептуальної схеми дозволить підібрати параметри пасивної системи опалення для максимально вигідного її використання з точки зору зменшення енерговитрат.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Olenets M., Piotrowski J.Z, Stroj A. Mathematical Description of Heat Transfer and Air Movement Processes in Convectonal Elements of a Building's Passive Solar Heating Systems. *Energy Procedia*. 2014. 57. Pp. 2070–2079. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.172.
2. Piotrowski J.Z., Story A., Olenets M. Mathematical modelling of the steady state heat transfer processes in the convectonal elements of passive solar heating systems. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2013. Vol. 13, No 3. Pp. 394–400. DOI: 10.1016/j.acme.2013.02.002
3. Рахимова К.К., Турсунов Ш.С., Ураков К.Х., Дамаев Н.К. Математическая модель расчета температурного поля теплоаккумулирующей стенки энергоэффективных зданий с альтернативным источником энергии. *Энергетика. Секция III. Каршинский государственный университет. Карші*, 2019. с. 271–274.
4. Kostikov S.A., Yiqiang J., Grinkrug M.S. Mathematical Model of a Trombe Wall in Combined Heat Supply System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol 753, Chap 1. 753:022018. DOI: 0.1088/1757-899x/753/2/022018
5. Aisya V., Hendrarsakti J. Computational and analytical study of Trombe wall configurations within Bandung weather condition. *AIP Conference Proceedings*, 1984, 02 AIP Conference Proceedings 1984. 2018. 020019. DOI: 10.1063/1.5046603
6. Błotny J., Nemś M. Analysis of the Impact of the Construction of a Trombe Wall on the Thermal Comfort in a Building Located in Wrocław, Poland. *Faculty of Mechanical and Power Engineering, Wrocław University of Science and Technology, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50–370 Wrocław, Poland, Atmosphere*. 2019. No 10(12), 761. DOI: 10.3390/atmos10120761
7. Shashikant P., Kishan N. Numerical Analysis of House with Trombe Wall. *International Journal of Engineering and Technology*. 2016. Vol 3(9).
8. Основні положення при проектуванні пасивних та активних теплових сонячних систем URL: https://studopedia.com.ua/1_14753_lektsiya-osnovni-polozhennya-pri-proektu-vanni-pasivnih-ta-aktivnih-teplovih-sonyachnih-sistem.html (дата звернення: 15.01.2021).
9. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2013. 910 p.
10. Mohammed U.A., Alibaba H.Z. Application of Bioclimatic Design Strategies to Solve Thermal Discomfort in Maiduguri Residences, Borno State Nigeria. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*. 2018. Vol. 4, Issue 1. Pp. 227–233.
11. Udoewa V., Kumar V. Computational Fluid Dynamics. In book: *Applied Computational Fluid Dynamics*. 2012. DOI: 10.5772/28614.
12. Ghani A., Mohammed M.F. Fundamentals Of Computational Fluid Dynamics. In book: *Sterilization Of Food In Retort Pouches*, Chapter: 4, Project: *Food Processing Engineering*. 2006. Pp. 33–44. DOI: 10.1007/0-387-31129-7_4.
13. Milbradt P., Abed W. Generalized stabilization techniques in computational fluid dynamics. URL: https://www.researchgate.net/publication/266465949_GENERALIZED_STABILIZATION_TECHNIQUES_IN_COMPUTATIONAL_FLUID_DYNAMICS (дата звернення: 15.01.2021).
14. Chunchula B., Santhosh G. CFD Analysis of Heat Transfer Enhancement by Using Passive Technique in Heat Exchanger. *International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering*. 2015. No 4. Pp. 99–111. DOI: 10.14810/ijmech.2015.4308. *Краще джерело у діапазоні 2016–2021*
15. Okita W., Reno M., Peres A., Resende J. Heat transfer analyses using computational fluid dynamics in the air blast freezing of guava pulp in large containers. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 2013. No 30. Pp. 811–824. DOI: 10.1590/S0104-66322013000400013.
16. Hosain M.L. Fluid Flow and Heat Transfer Simulations for Complex Industrial Applications: From Reynolds Averaged Navier-Stokes towards Smoothed Particle Hydrodynamics. *Mälardalen University Press Dissertations. Mälardalen University*. 2018. Vol 282.
17. Kocheril R., Elias J. CFD simulation for evaluation of optimum heat transfer rate in a heat exchanger of an internal combustion engine. *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization. Int. J. Simul. Multidisci. Des. Optim.* 2020. 11, 6. DOI: 10.1051/smdo/2019017.
18. What's The Difference Between FEM, FDM, and FVM? URL: <https://www.machinedesign.com/3d-printing-cad/fea-and-simulation/article/21832072/whats-the-difference-between-fem-fdm-and-fvm.html> (дата звернення: 15.01.2021).
19. Falguni M., Hrishabh J. Finite element method: An overview. *JDMS*. 2016. 15. Pp. 38–41.



DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODELING SYSTEM FOR OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF A PASSIVE CLOSED HEATING SYSTEM

Sokol Kostiantyn,

Ph.D. student of Software Tools and Technologies Department,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: kostya13sokol@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5155-7202

Ohnieva Oksana,

Ph.D., Associate Professor of Software Tools and Technologies Department,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: Oksana_Ognieva@meta.ua, ORCID ID: 0000-0001-6206-0285

Abstract. In the conditions of constant growth of prices for energy resources, struggle for improvement of ecology and reduction of share of use of fossil fuels, methods of increase of energy efficiency and energy saving become actual. One of such methods is the use of passive heating systems – energy systems in which the processes of collection, accumulation and use of solar energy for heating are carried out naturally in the architectural and building elements of the building. The use of these systems allows to reduce energy costs for heating and cooling of the building up to 80 %.

The article considers passive closed heating systems, their features, basic parameters, advantages over conventional heating systems, methods of their modeling and optimization, as well as the possibility of using computer analysis systems to create models of passive closed heating systems.

The purpose of this study is to develop a computer simulation system to optimize the parameters of a passive closed heating system.

The main results of the study. A conceptual scheme for optimizing the parameters of a passive closed heating system using computer simulation systems is proposed. The principle of operation of this scheme is shown, its input and output parameters are specified. The considered scheme allows to receive optimum values of the basic parameters of passive heating system, and use of methods of computer modeling maximizes accuracy of calculations and gives the chance of simulation of any conditions for detailed research of the considered systems.

The scientific novelty is the proposed conceptual scheme, and in particular, the use of modeling using the method of computational fluid dynamics for further analysis of results and optimization of parameters.

Key words: *passive heating systems, modeling, optimization, energy efficiency, heat transfer.*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗАКРЫТОГО ТИПА

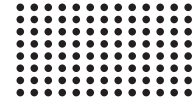
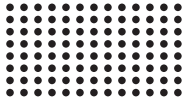
Сокол Константин Игоревич,

аспирант кафедры программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина;
e-mail: kostya13sokol@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5155-7202

Огнева Оксана Евгеньевна,

кандидат технических наук, доцент кафедры программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина;
e-mail: Oksana_Ognieva@meta.ua, ORCID ID: 0000-0001-6206-0285

Аннотация. В условиях постоянного роста цен на энергоресурсы, борьбы за улучшение экологии и уменьшения доли использования ископаемых видов топлива, актуальность приобретают методы повышения энергоэффективности и энергосбережения. Одним из таких методов является применение пассивных систем отопления – энерге-



тических систем, в которых процессы приема, накопления и использования солнечной энергии для отопления, осуществляются естественным путем в архитектурно-строительных элементах здания. Использование данных систем позволяет уменьшать затраты энергоносителей на отопление и охлаждение здания до 80 %.

В статье рассмотрены пассивные системы отопления закрытого типа, их особенности, основные параметры, преимущества над обычными системами отопления, методы их моделирования и оптимизации, а также возможность использования систем компьютерного анализа для создания моделей пассивных систем отопления закрытого типа.

Целью данного исследования является разработка системы компьютерного моделирования для оптимизации параметров пассивной системы отопления закрытого типа.

Основные результаты исследования. Предложена концептуальная схема оптимизации параметров пассивной системы отопления закрытого типа с использованием систем компьютерного моделирования. Показано принцип работы данной схемы, указано ее входные и выходные параметры. Рассмотренная схема позволяет получать оптимальные значения основных параметров системы пассивного отопления, а использование методов компьютерного моделирования максимально повышает точность расчетов и дает возможность имитации любых условиях для детального исследования рассматриваемых систем.

Научной новизной является предложенная концептуальная схема, в частности, использование моделирования с помощью метода вычислительной гидродинамики для дальнейшего анализа результатов и оптимизации параметров.

Ключевые слова: пассивные системы отопления, моделирование, оптимизация, энергоэффективность, теплопередача.

REFERENCES:

1. Olenets, M., Piotrowski, J.Z., & Stroj, A. (2014). Mathematical Description of Heat Transfer and Air Movement Processes in Convective Elements of a Building's Passive Solar Heating Systems. *Energy Procedia*. 57, 2070–2079. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.172.
2. Piotrowski, J.Z., Story, A., & Olenets M. (2013). Mathematical modelling of the steady state heat transfer processes in the convective elements of passive solar heating systems. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 13, 3, 394–400. DOI: 10.1016/j.acme.2013.02.002
3. Rakhimova, K.K., Tursunov, Sh.S., Urakov, K.Kh., & Damaev, N.K. (2019). Mathematical model for calculating the temperature field of the heat-accumulating wall of energy-efficient buildings with an alternative energy source. *Energy*. Section III. Karshi State University, Karshi. 271–274. (in Russian).
4. Kostikov, S.A., Yiqiang, J., & Grinkrug, M.S. (2020). Mathematical Model of a Trombe Wall in Combined Heat Supply System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 753, 1, 753:022018. DOI: 10.1088/1757-899x/753/2/022018
5. Aisya, V., & Hendrarsakti, J. (2018). Computational and analytical study of Trombe wall configurations within Bandung weather condition. *AIP Conference Proceedings*, 1984, 02 AIP Conference Proceedings 1984. 020019. DOI: 10.1063/1.5046603
6. Błotny, J., & Nemś, M. (2019). Analysis of the Impact of the Construction of a Trombe Wall on the Thermal Comfort in a Building Located in Wrocław, Poland. *Faculty of Mechanical and Power Engineering, Wrocław University of Science and Technology, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50–370 Wrocław, Poland, Atmosphere*. 10(12), 761. DOI: 10.3390/atmos10120761
7. Shashikant, P., & Kishan, N. (2016). Numerical Analysis of House with Trombe Wall. *International Journal of Engineering and Technology*. 3(9).
8. Basic provisions in the design of passive and active thermal solar systems URL: https://studopedia.com.ua/1_14753_lektsiya--osnovni-polozhennya-pri-proektu-vanni-pasivnih-ta-aktivnih-teplovih-sonyachnih-sistem.html (in Russian).
9. Duffie, J.A., & Beckman, W.A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
10. Mohammed, U.A., & Alibaba, H.Z. (2018). Application of Bioclimatic Design Strategies to Solve Thermal Discomfort in Maiduguri Residences, Borno State Nigeria. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*. 4, 1, 227–233.
11. Udoewa, V., & Kumar, V. (2012). Computational Fluid Dynamics. In book: *Applied Computational Fluid Dynamics*. DOI: 10.5772/28614.
12. Ghani, A., & Mohammed, M.F. (2006). Fundamentals Of Computational Fluid Dynamics. In book: *Sterilization Of Food In Retort Pouches*, Chapter: 4, Project: Food Processing Engineering. 33–44. DOI: 10.1007/0-387-31129-7_4.
13. Milbradt, P., & Abed, W. Generalized stabilization techniques in computational fluid dynamics. URL: https://www.researchgate.net/publication/266465949_GENERALIZED_STABILIZATION_TECHNIQUES_IN_COMPUTATIONAL_FLUID_DYNAMICS
14. Chunchula, B., & Santhosh G. (2015). CFD Analysis of Heat Transfer Enhancement by Using Passive Technique in Heat Exchanger. *International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering*. 4, 99–111. DOI: 10.14810/ijmech.2015.4308.
15. Okita, W., Reno, M., Peres, A., & Resende, J. (2013). Heat transfer analyses using computational fluid dynamics in the air blast freezing of guava pulp in large containers. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 30, 811–824. DOI: 10.1590/S0104-66322013000400013.



16. Hosain, M.L. (2018). Fluid Flow and Heat Transfer Simulations for Complex Industrial Applications: From Reynolds Averaged Navier-Stokes towards Smoothed Particle Hydrodynamics. Mälardalen University Press Dissertations. Mälardalen University. 282.
17. Kocheril, R., & Elias, J. (2020). CFD simulation for evaluation of optimum heat transfer rate in a heat exchanger of an internal combustion engine. International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization. Int. J. Simul. Multidisci. Des. Optim. 11, 6. DOI: 10.1051/smdo/2019017.
18. What's The Difference Between FEM, FDM, and FVM? URL: <https://www.machinedesign.com/3d-printing-cad/fea-and-simulation/article/21832072/whats-the-difference-between-fem-fdm-and-fvm.html>
19. Falguni, M., & Hrishabh, J. (2016). Finite element method: An overview. JDMS. 15, 38–41.



ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНКИ КВАЛІФІКАЦІЇ ПРОГРАМІСТА

УДК 004.81:159.953.52

DOI

Катерина Полібіна,

аспірантка кафедри програмних засобів та технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: e.v.polibina@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6727-1890

Анотація. На сьогодні в Україні попит на побудову кар'єри в ІТ зростає. Це обумовлено розвитком інформаційних технологій, і як слідство, розширенням ринку праці та зросту рівня заробітної платні в галузі ІТ. Асоціація «IT Ukraine» [1] розробила уніфікований перелік вимог та рекомендацій до спеціалістів junior-рівня. Перелік охоплює три найбільш популярні та затребувані ІТ-спеціалізації – розробку, тестування та автоматизоване тестування програмного забезпечення. Щоб почати роботу в ІТ, junior-розробник повинен володіти навичками програмування HTML/CSS на середньому рівні, JavaScript і .NET на початковому рівні [2].

Метою статті є дослідження можливостей використання концептуальної моделі структуризації та візуалізації знань з програмування для вивчення поза рамок формальної освіти та методу оцінки кваліфікації програміста-аматора за допомогою матриць Hexlet.

Методи дослідження. Концептуальна структуризація вирішує проблему побудови цілісного уявлення (концептуального каркаса) про галузь ІТ знань поза формальної освіти. Матриця Hexlet структурує компетенції програміста та тестує професійні компетенції. Аналіз статистичних даних використання сучасних ІТ технологій та інструментів дозволяє структурувати дослідження в галузі популярності мов та інструментальних засобів програмування.

Основні результати дослідження. Концептуальна модель пропонує порядок вивчення предметів для самостійного опанування ІТ- спеціалізацією, що дає можливість зрозуміти, які дисципліни потрібні більше, які менше для роботи в певній галузі ІТ. Оптимізована матриця компетенцій дає розуміння набутої кваліфікації в програмуванні поза засвоєння фундаментальних основ.

Наукова новизна. Неформальне професійне навчання та підтвердження його результатів є новелою для України. Працюючі в ІТ-індустрії фахівці приділяють дуже багато уваги своєму професійному та особистісному розвитку, тому для адекватної оцінки навичок тут потрібні кастомізовані – «підігнані» під потреби ІТ галузі – методи.

Практична значимість. Для практичного підтвердження отриманих результатів проведено експеримент по опитуванню та тестуванню студентів Новокаховського приладобудівного фахового коледжу, які навчаються на економічних спеціальностях та самостійно набувають професійних компетенції в галузі ІТ. Результати експерименту підтвердили практичну цінність запропонованих моделей, які можуть бути використані для підтримки прийняття рішень по самостійному вивченню інформаційних технологій та оцінки набутої кваліфікації.

Ключові слова: програміст, програмування, оцінка кваліфікації, самоосвіта.

Постановка проблеми. Професія розробника програмного забезпечення (ПЗ) сьогодні є однією з найбільш затребуваних, високооплачуваних та з високою конкурентоспроможністю. Але щоб стати класним фахівцем, необхідно постійно самовдосконалюватися і вчитися. До вершин кар'єри в програмуванні можна прийти по-різному. Хтось розбирається в усьому самостійно, це, так звана самоосвіта, за допомогою книг, підручників, курсів, інтернет-ресурсів тощо. Інший варіант – піти в фаховий учбовий заклад і отримати диплом в області інформаційних технологій. Але головна проблема вищої освіти, складається в тому, що учбовий заклад не встигає за швидким розвитком інформаційних технологій. Програма навчання застаріває практично відразу після свого виходу в світ, так що студентам доводиться вчитися самостійно, щоб оставатися в тренді професії. Тому сучасні український програмісти-аматори не поспішають навчатися у навчальних закладах, всі прагнуть почати практикувати та заробляти якомога раніше. На жаль, частіше вивчається тільки один напрямок (наприклад PHP + MySQL). Та на цьому все і закінчується. В результаті ринок праці IT отримує величезну кількість програмістів, які не знають базових речей. Звідси з'являються проблеми з якістю коду, з ефективністю алгоритмів, з низькою конкурентоспроможністю фахівців та створених ними ПЗ на галузевих ринках України та світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тема самоосвіти в IT галузі, в сенсі неформального навчання та підтвердження його результатів, для України є маловивченою. Але ж, є де які дослідження присвячені цьому питанню. Наприклад, викладач Одеського технічного коледжу Іванова Л.В. сумісно з колегою в своїй статті з власних наукових доробок [3] зазначає, що «... щомісяця українські IT-компанії оприлюднюють близько трьох тисяч нових вакансій. Нажаль, наразі все частіше мова йде про невідповідність існуючої системи підготовки фахівців реальним вимогам ринку та, зокрема, і у галузі інформаційних технологій». Російські колеги також опікуються питаннями підтвердження кваліфікації програміста, набутою через самоосвіту. Так, наприклад, в циклі своїх статей [4, 5], де в якості емпіричної бази дослідження виступають дані глибинних інтерв'ю з представниками IT-сфери, російська дослідниця Л.В. Земнухова робить висновки, що кваліфікаційний ресурс програміста розкривається через наявність і отримання постійного практичного

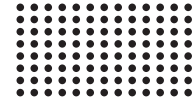
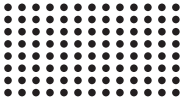
досвіду. Що через швидкий розвиток професії виникають складнощі з її формалізацією, що призводить до множинної класифікації працівників різних галузей IT. Крім того, це питання знаходиться в сфері уваги і зарубіжних науковців. В статті канадського дослідника Тімоті Літбриджа (Timothy C. Lethbridge) [6] розглядається необхідність надбання формальної освіти з точки зору навичок програмістів, які необхідні роботодавцю. Таки чином, сам факт існування терміну «програміст-аматор» [7] говорить про, що це питання вимагає ретельного дослідження.

Щодо моделей оцінки якості кваліфікації програмістів увагу привертає наукова праця білоруських вчених А.А. Прихожина та А.М. Ждановського. Науковці розглядають проблему формування і оптимізації команд програмістів з урахуванням кваліфікації і рівня володіння технологіями і інструментами програмування[8].

Мета дослідження. Мета дослідження полягає в вивченні та в доведенні доцільності використання концептуальної моделі структуризації та візуалізації знань з програмування для вивчення поза рамок формальної освіти та оптимізації методу оцінки кваліфікації програміста-аматора за допомогою матриць Hexlet.

Виклад матеріалу дослідження. Американська всесвітня соціальна платформа HackerRank з 1,5 млн користувачів, яка пропонує завдання різної складності з програмування, кожний рік проводить опитування [9]. Мета опитування визначити, наскільки важлива самоосвіта в галузі IT, а також дізнатися, які навички майбутні програмістаматори планують розвивати. На думку приблизно 50% респондентів, крім навчання в вузах, вони отримували необхідну інформацію самостійно. Більше 30% опитаних відмітили, що професійні навички отримали в процесі самонавчання, а не в навчальному закладі.

Крім того, HackerRank проаналізував вимоги роботодавців к рівню IT спеціалістів [10]. Як виявилось, найчастіше роботодавці (48% опитаних) беруть на роботу розробників, які знають JavaScript і суміжні фреймворки. Цей попит пов'язаний з активним переходом галузі на динамічні веб-сторінки, де 95% всіх додатків написані на JavaScript. Але ж лише 42% початківців-розробників знають цю мову. Найсильніше дефіцит таких кадрів в Україні і Канаді. У США і Великобританії, навпаки, фахівців з JavaScript цілком достатньо. Проблема в тому, що в багатьох освітніх закладах цю мову



програмування не включають в курс навчання. Ruby, Python і JavaScript – найпопулярніші мови. Всі три мови цікавлять переважно і більшість роботодавців. Початківцям-розробникам треба вивчати їх в обов'язковому порядку. Четвертою, за популярністю, залишається мова C, оскільки низькорівневі мови програмування допомагають у вивченні нових. Також, фреймворки AngularJS, React, Node.js і Spring – найпопулярніші серед роботодавців. Їх знання вимагає переважно більшість компаній. Дефіцит фахівців дуже помітний, оскільки саме ці фреймворки слабо вивчаються в освітніх закладах. Основи, звичайно, даються, але практики мінімум і студентам потрібно освоювати ці фреймворки самостійно.

Програмування – це повноцінна галузь знань, яка вимагає фундаментальної підготовки. Так, написати та підняти більшість сайтів можна прочитавши пару книг по PHP і HTML. Але «умовний» Google не створиш, не знаючи основ. Можливості для самоосвіти в комп'ютерних науках зараз величезні. Єдине, чого не вистачає, – це системності у підготовці. Як розібратися, що і в якій послідовності вивчати?

Для початку потрібно з'ясувати, яким програмістом хоче стати початківець або світчер. На IT-ринку затребувані як висококваліфіковані дорогі фахівці, так і «monkey-кодери». Пакет знань і досвіду перших і других відрізняється в значній мірі. Можна описати приблизний максимум знань, які так чи інакше відносяться до програмування. Звичайно, знати все неможливо – якесь питання потрібно знати глибоко, а в інших досить поверхневого оглядового розуміння. По-цьому в залежності від спеціалізації деякі дисципліни більш актуальні, деякі менш, але загальні базові знання необхідні для всіх з них, для будь-якого інженера-програміста.

Таким чином, нижче запропоновано концептуальну модель міждисциплінарних зв'язків при вивченні програмування. Очевидно, що одні дисципліни активно використовують знання інших дисциплін, або виростають з них. Відповідно для повного розуміння «верхнього» предмета, необхідний якийсь рівень розуміння «нижнього». Модель складається з дисциплін і розбита на рівні. Найнижчий рівень – «Загальна база», власне, відношення до комп'ютерних наук не має, але ж показує, на чому базуються вивчення дисциплін з програмування. Загалом, між наведеними дисциплінами існують 2 види зв'язків: використання (звичайна стрілка) і роз-

ширення (товста стрілка). Використання дисципліни має на увазі необхідність фрагментарних знань іншого предмета, а розширення – необхідність повних знань з дисципліни (рис.1).

Рівень «Спеціальна база знань» з CS (англ. computer science) – це стартовий майданчик для будь-якого програміста по чотирьох напрямках:

- арифметичні основи ЕОМ (системи числення і операції з числами, логічні операції); фізичні основи ЕОМ (напівпровідники, транзистори, логічні елементи, схеми, інтегральні мікросхеми);
- теорія алгоритмів (алгоритми і структури даних; складність, ефективність, способи представлення інформації в пам'яті);
- мови програмування (завдання і поняття МП, рівні, типи мов, абстракція, рівні абстракції, трансляція/компіляція, шаблони, принципи, парадигми – огляд).

Спеціальна база пропонує фундаментальні теоретичні знання, на яких будуються дисципліни вищих рівнів. Для середнього програміста необхідні оглядові знання з усіх предметів спеціальної бази. Для деякої спеціалізації потрібно поглиблене розуміння теорії алгоритмів (перш за все, розробникам різного роду бібліотек).

Рівнем вище розташовуються дисципліни, які є базовими саме в програмуванні – Основи програмування. У нього входять:

- архітектура ЕОМ (процесори, мікроархітектура, пам'ять, шини, введення/висновок);
- обробка інформації (теорія інформації, статистика, моделі, пошук даних, лінгвістичні аспекти, обробка інформації засобами електронних таблиць);
- основи C/C++ (базові властивості мови, синтаксис, покажчики, введення/висновок, масиви, основи STL).

Рівень 1 – перший прикладний рівень, який дозволяє почати роботу по розробці ПЗ, оволодівши цим рівнем. Він включає 5 дисциплін:

- основи ASM (розвиток архітектури ЕОМ в напрямку програмування, написання найпростіших драйверів і алгоритмів, асемблерні вставки в C/C++);
- C/C++ (ООП, розробка прикладних програм, бібліотеки, WinAPI, паралельне програмування);
- операційні системи (архітектура ОС, процеси, міжпроцесна взаємодія, потоки, планування, роботи з пам'яттю і периферією, POSIX-системи);

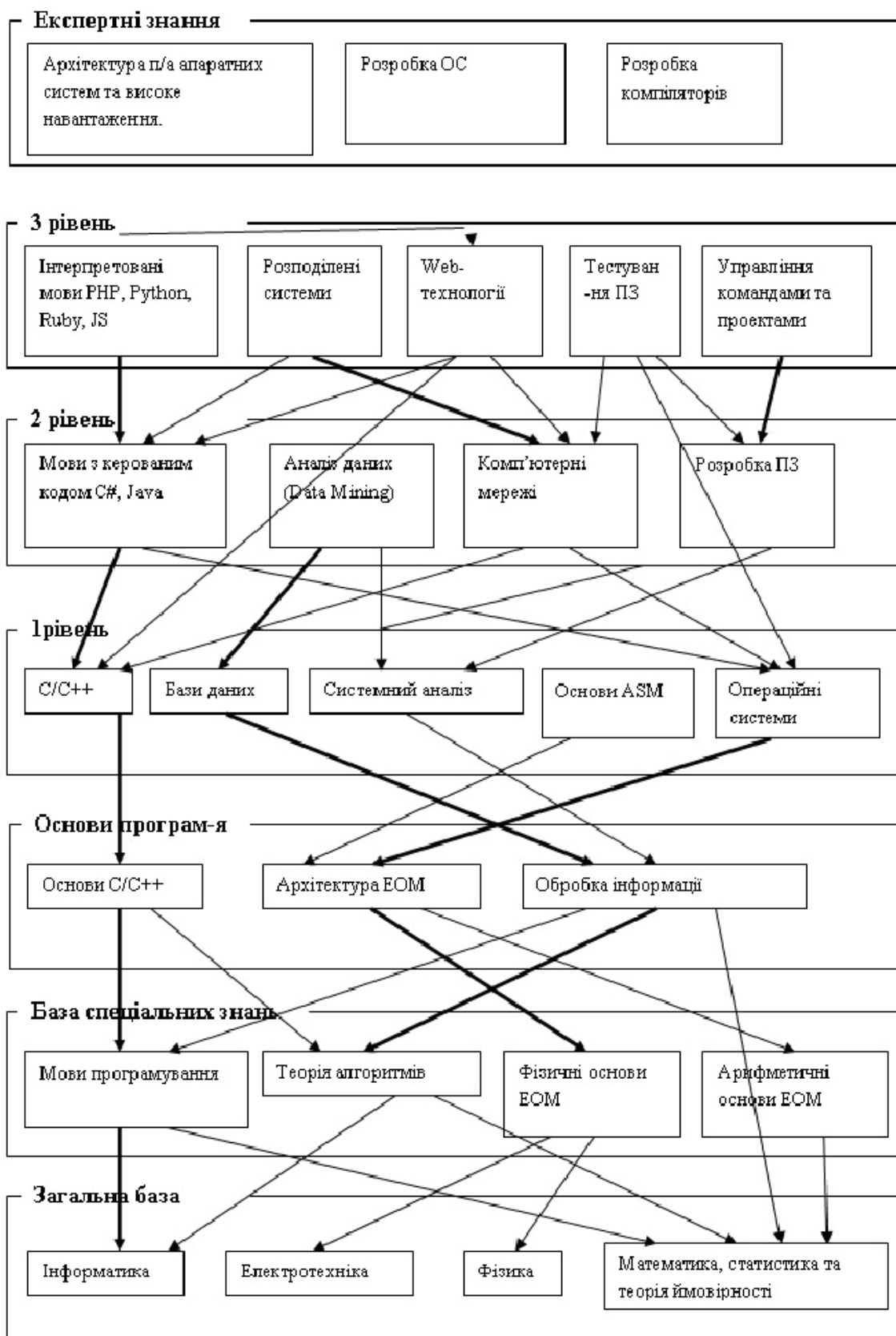
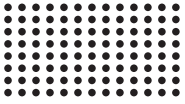


Рис. 1 – Концептуальна модель міждисциплінарних зв'язків при вивченні програмування



– системний аналіз (предметна область, бізнес-процеси, потоки, діаграми, принципи і теорія системного аналізу);

– бази даних (теорія множин, види СУБД, реляційні СУБД, моделі даних, SQL, конкретні БД).

Рівень 2 – розвиває попередній і включає:

– розробку ПО (життєвий цикл ПО, етапи розробки, основи ведення програмних проєктів, інструменти);

– аналіз даних (Data Mining, OLAP, машинне навчання, нейронні мережі);

– комп'ютерні мережі (за рівнями стеків TCP/IP і, або, ISO/OSI, протоколи, мережеве програмування на C/C++. Комп'ютерні мережі потрапили в цей рівень з тієї причини, що для їх вивчення бажано попередньо освоїти операційні системи, а цей предмет ближче до першого рівня);

– мови програмування з керуванням кодом (керований код, віртуальні машини, збирачі сміття, unit тестування, практика на C # або Java).

Рівень 3 – останній рівень для середнього програміста. Він самий об'ємний і включає тільки ті дисципліни, які безпосередньо пов'язані з розробкою ПЗ. Всього їх 6:

– розробка UI і usability (принципи побудови інтерфейсів користувача);

– управління командами та проєктами (методології розробки та інші питання управління);

– тестування ПО (оглядово: види тестування, інструменти);

– веб-технології (HTTP-протокол, веб-сервер, CGI, кешування і проксінг, клієнтське програмування);

– розподілені системи (архітектури розподілених систем, протоколи мережевої взаємодії компонентів, інструменти, принципи, підходи до побудови розподілених систем, відмовостійкість, великі дані, високі навантаження);

– інтерпретовані мови програмування (особливості, основи по двом-трьом мовам, практика по одній-двома мовам: JS, PHP, Python, Ruby).

Все, що перераховано вище відноситься до експертних знань. Цей рівень можна розширювати необмежено, додаючи в нього суміжні з розробкою дисципліни і найбільш складні аспекти розробки ПЗ. В схемі наведено 3 приклади – розробка компіляторів, розробка операційних систем і побудова архітектури великих програмно-апаратних систем, або архітектури, розрахованих на особливо високі навантаження. Залежності

до нижніх рівнів природно існують, але можна сказати, що всі наведені дисципліни нижчих рівнів так чи інакше зв'язані з експертним рівнем, тобто експертний рівень вимагає найширших знань і хорошого досвіду.

Таким чином, наведена модель пропонує порядок вивчення предметів, дає можливість зрозуміти, які дисципліни потрібні більше, які менше для роботи в певній спеціалізації (просто вибрати основний предмет спеціалізації і дивитися по зв'язках і віддаленості до інших). Дає розуміння, як самостійно вивчати комп'ютерні науки, якщо починати не з фундаментальних основ, а з прикладних знань (наприклад, PHP), для цього можна рухатися по зв'язкам в сторони і вниз.

Природно, що в разі самонавчання доведеться самостійно шукати джерела інформації та багато читати, щоб заповнити ті прогалини, яким зазвичай приділяють увагу на студентській лаві. У новачка-одинаки такої можливості часто немає, тому доведеться звертатися до книг. Тут можна порекомендувати в першу чергу прочитати книги з дискретної математики, з шаблонів проєктування і проєктування алгоритмів.

Та й книги – це хороше джерело інформації, однак люди – все ж істоти соціальні, тому ми добре засвоюємо інформацію, отриману від іншої людини. При самостійному навчанні ментора доводиться шукати самостійно. Таке спілкування важливо не тільки для того, щоб отримати нові знання, а й щоб не закинути навчання в цілому. Підтримку інших програмістів можна отримати на різних Інтернет-спільнотах розробників ПЗ, а також на інших ресурсах і форумах, на яких у новачка є можливість знайти відповідь на питання і висловити свою думку. Більше зусиль доведеться вкладати і в практику. Тут порадимо відразу починати роботу над осмисленням проєктом, це позитивно позначиться на мотивації, можливість бачити, як розвивається власна програма, допоможе також самонавчання в ігровому форматі.

Отже, отримати необхідні для програміста знання і навички можливо і самостійно, але доведеться мати серйозну мотивацію, крім того, необхідно буде самостійно формувати навчальний план і балансувати між суто практичними навичками, які допоможуть прямо зараз, і фундаментальними знаннями, корисними при навчанні в цілому.

Основна ознака неформальної освіти – відсутність єдиних, в тій чи іншій мірі стандартизованих вимог до результатів навчальної діяльності.

Модель компетенцій – повний набір характеристик (професійних та особистісних), що дозволяє людині успішно виконувати відповідні функції і домагатися необхідних результатів. Ефективна модель має просту структуру, вона зрозуміла і легка для розуміння. Існує величезна кількість матриць оцінювання компетенцій програміста. Розглянемо саму популярну, яку пропонує База знань Hexlet [11]. Чотири рівня компетентності програміста, які умовно розкладені по 15 умовним «полицям», ось тільки декілька з них:

- знання алгоритмів;

- вміння організувати контроль версій;
- досвід проектування складних систем;
- читабельність коду і так далі [12].

Матриця замає багато місяці, з її повною версією можна ознайомитися на офіційному сайті Hexlet. Наведу матрицю компетенцій програміста для трьох рівнів junior, middle, senior, якій було оптимізовано для використання в статті (переклад с англійської автора). Кожен пункт це те, що необхідно знати. Кожен наступний стовпець включає всі знання з попереднього. Кожен наступний стовпець без знання попереднього, це ілюзія знання.

Таблиця 1 – Матриця компетентности програміста (Hexlet версія)

Компетенції/ Рівні	Junior (початковий)	Middle (середній)	Senior (високий)
Мови	Імперативна (php/js/ruby/python, java/c#/c/kotlin)	Lisp (clojure/racket)	Haskell, erlang, prolog
Асинхронне програмування	Промиси	Сопрограмми, Async/Await,	Модель акторів, 999 канали
До бази з коду	Робота з базою через драйвери	ORM ActiveRecord/Repository/ QueryBuilder	Data Mapper
Web	http, html	Мікрофреймворки, роутинг, шаблонізація	Фреймворки
Web- сервіси		Моделі роботи (process/ thread/event loop	Cgi, fastcgi
Експлуатація	Автоматизація ((ansible)	Міграції, Моніторинг, vagrant	Незмінна інфраструктура, контейнерна віртуалізація (docker)

До речі, подібні матриці іноді використовуються HR-фахівцями і teamleader для оцінки компетенцій співбесіди.

Таким чином, кожний рівень з таблиці практично відповідає рівням, наведеним в концептуальній моделі міждисциплінарних зв'язків при вивченні програмування самостійно.

Аналіз результатів досліджень компанії RedMonk [13] про популярність мов і інструментальні засоби програмування і результатів досліджень організації IEEE Spectrum [14] про рейтинг мов дозволив розробити таблицю, що описує 14 основних технологій і інструментів. Для кожної технології вказано рейтинг, який показує значимість і широту застосування технології.

За призначенням всі технології діляться на 5 підгруп:

1. Системи контролю версій і управління проектами включають Git, Jira з рейтингом 0.3 кожна.
2. До середовищ розробки відносяться Visual Studio і Eclipse, рейтинг обох 0.6.
3. Системи управління базами даних представлені Oracle SQL (рейтинг 0.5) і Microsoft SQL Server (рейтинг 0.6).
4. Мови програмування Java, C #, Visual Basic, C ++, JavaScript і XSL з рейтингом 1.0, 0.9, 0.7, 0.9, 0.8 і 0.6 відповідно.
5. Операційні системи представлені Windows і Linux з рейтингом 0.6 і 0.5 відповідно.

Таблиця 2 – Ключові технології і інструменти програмування

Назва технології	Код	Рейтинг IEEE Spectrum	Рівень за концепт. мод.
Git 0.3	VGT	0.3	3
Jira	VJR	0.3	3
Visual Studio	DVS	0.6	2
Eclipse	DEC	0.6	3
Oracle SQL	OBM	0.5	3
Microsoft SQL Server	DBM	0.6	2
Java	LJ	1.0	3
C#	LC#	0.9	2
Visual Basic	LVB	0.7	1
C++	LCP	0.9	1
Java script	LJS	0.8	3
XSL	LXS	0.6	2
Windows	OSW	0.6	1
Linux	OSL	0.5	1

Для оцінки свого рівня володіння технологіями і інструментами програмісту-самоуці можна використати простий метод само опитування, тобто заповнити якусь форму, в якій вказати рівень володіння кожної

з технологій. Рівень визначається за п'ятибальною шкалою: 0 – відсутність знання; 1 – мінімальне знання; 2 – проміжні навички; 3 – розширений досвід володіння технологією; 4 – знання і досвід експерта. Експертом вважається програміст, який володіє теоретичними експертними знаннями, розробив не менше двох крупних проектів і пропрацював не менше двох років з даною технологією. Програміст має розширені навички, якщо виконуються два критерії з трьох, і володіє проміжними навичками, якщо виконується один критерій.

В рамках експерименту було запропоновано студентам Новокаховського фахового приладобудівного технікуму, які навчаються на економічних спеціальностях та опановують програмування самостійно, використовуючи запропоновану модель, заповнити матрицю компетенцій.

Результати опитування 5 осіб представлені на рис. 2, де рядки відповідають технологіями з таблиці, а стовпці студентам, які вивчали програмування самостійно. В комірках таблиці стоїть цифра, що позначає самооцінювання студентом ступеню володіння компетенцією після самонавчання за п'ятибальною системою. Для візуалізації результату, вищий бал зі знання технологій виділено червоним кольором. Середній – зеленим, мінімальний – синій та жовтий. Дисципліну не вивчав – білий колір.

Студенти	Студент 1	Студент 2	Студент 3	Студент 4	Студент 5
Jira	0	0	0	0	0
Visual Studio	0	2	3	3	2
Microsoft SQL Server	0	0	3	4	3
Java	1	4	4	2	2
C#	3	3	0	3	3
Visual Basic	0	2	0	3	2
C++	0	4	0	1	1
Java script	4	1	4	1	1
XSL	2	1	2	2	1
Windows	3	4	3	3	4
Linux	0	0	2	0	0

Рис. 2 – Результати опитування програмістів-аматорів

Діаграма компетенцій – це пелюсткова діаграма, яка візуалізує чисельні показники компетенцій.

І це тільки найпростіші застосування матриці і діаграми компетенцій. Аналізуючи, можна побачити, що кожен зі студентів зробив вибір дисципліни виходячи

з популярності інформаційної технології. Також вивчаємо мову або ПЗ, яку було вибрано для самостійного вивчення, не залежало від наявності фундаментальних знань у програміста-аматора. Можливо, що студент 3 може претендувати на позицію junior IT компанії,

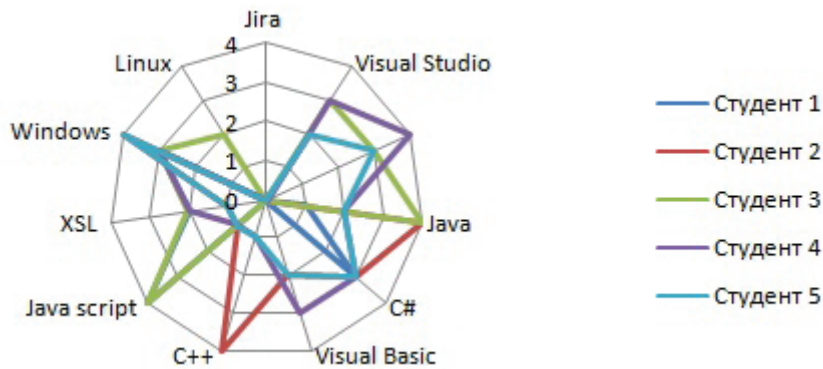


Рис. 3 – Радіальна діаграма компетенцій

не маючи диплома програміста. Також діаграма буде в нагоді, якщо студенти будуть об'єднані в команду для роботи над ІТ проектом

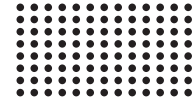
Висновки. Таким чином, стає зрозуміло, що диплом або ступінь не повинні бути основним фактором оцінки навичок спеціалістів, які намагаються постройти кар'єру в галузі ІТ. Основна увага при прийомі на роботу або участі молодого розробника в створенні ПЗ повинна приділятися індивідуальними проектами, його портфоліо, оцінці навичок.

Запропонована концептуальна модель структуризації знань вирішує проблему побудови цілісного уявлення (концептуального каркаса) про галузь ІТ знань поза формальної освіти. Оптимізована матриця Hexlet структурує компетенції програміста та тестує професійні компетенції і дає розуміння набутої кваліфікації в програмуванні поза засвоєння фундаментальних основ.

При цьому, незважаючи на те, що сучасні уявлення про освіту змінюються, багато роботодавців і фахівців (в тому числі в ІТ-сфері) все ще дивляться на диплом в тій чи іншій мірі. В ІТ-компаніях (зокрема, в Google) простіше потрапити на співбесіду з дипломом про вищу освіту в області комп'ютерних наук. Тому, є необхідність проаналізувати другий шлях здобуття навичок програмування, а саме – навчання в фахових освітніх установах. Але, як було сказано вище, головна проблема освіти в підготовці ІТ-спеціалістів в тому, що навчальний заклад не встигає за швидким розвитком технологій. Програма навчання застаріває практично відразу після свого виходу в світ. І запропонованим рішенням буде застосування нових освітніх технологій в професійній освіті. Це допоможе підняти рівень якості освіти ІТ, рівень цінності освіти ІТ, набуття практичних навичок майбутніми програмістами та досвіду роботи в команді, набуття зв'язків в галузі майбутньої праці.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. IT Ukraine Association. Офіційний сайт об'єднання компаній-розробників програмного забезпечення в Україні. URL: <https://itukraine.org.ua> (дата звернення 15.01.2021).
2. Потрапити в ІТ: бізнес представив перелік ключових вимог до джуніорів. *Медіа та публікації*. 2018. URL: <https://itukraine.org.ua/potrapi-tv-it-provn-kompan-rinku-sformuvali-dinij-perelk-klyuchovix-vimog-do-molodix-speczstv.html> (дата звернення 25.12.2020).
3. Іванова Л.В., Скорнякова О.В. «Softskills», як важлива складова конкурентоспроможності фахівця з інформаційних технологій. *Young Scientist*. Херсон, 2018. № 12. С. 83–87.
4. Земнухова Л.В. «Айтишники» чаще любят свою работу: к обсуждению результатов исследования. *Петербургская социология сегодня*. 2013. № 4. С. 88–115.
5. Земнухова Л.В. Информационные технологии как профессиональная среда. *Социологический журнал*. 2013, № 4. С. 50–58.
6. Timothy C. Lethbridge. The Relevance of Software Education: A Survey and Some Recommendations. *Article in Annals of Software Engineering*. 2000. № 5. P. 3-19.
7. Столяр С.Е. Интернет-школа программирования. *Компьютерные инструменты в образовании*. 2015. № 1. С. 55–62.
8. Пригожий А.А., Ждановский А.М. Метод оценки квалификации и оптимизация состава профессиональных групп программистов. *Системный анализ и прикладная математика*. 2018. № 2. С. 4–11.



9. HackerRank: Official website the platform to identify and hire developers. URL: <https://www.hackerrank.com> (дата звернення 15.01.2021).
10. Рейтинг HackerRank: самые лучшие программисты — в Китае, России и Польше. *Статистика в IT*. URL: <https://habr.com> (дата звернення 15.01.2021).
11. Hexlet: Сайт по обучению программированию. URL: <https://ru.hexlet.io> (дата звернення 24.01.2021).
12. Computer Science: Programmer Competency Matrix. URL: <https://sijinjoseph.com/programmer-competency-matrix> (дата звернення 15.01.2021).
13. Red Monk: Official website of the Red Monk analytical company. Retrieved from <http://redmonk.com> (дата звернення 15.12.2020).
14. Cass S. Top Programming Languages (IEEE Spectrum). URL: <http://spectrum.ieee.org> (дата звернення 10.01.2021).

RESEARCH OF MODELS, METHODS AND INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ASSESSING THE PROGRAMMER'S QUALIFICATION

Ekaterina Polibina,

PhD student of the Department of Programming Tools and Technologies,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: e.v.polibina@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6727-1890

Abstract. Today in Ukraine the demand for building a career in IT is growing. This is due to the development of information technology, and as a result, the expansion of the labor market and the growth of wages in the IT field. Association IT Ukraine [1] has developed a unified list of requirements and recommendations for junior-level specialists. The list includes the three most popular and demanded IT specializations – development, testing and automated software testing. To get started in IT, a junior developer must have intermediate level HTML / CSS programming skills, beginner level JavaScript and NET skills [2].

The purpose of the article is to study the possibilities of using the conceptual model of structuring and visualizing knowledge in Programming for studying outside the framework of formal education and the method of assessing the qualifications of an amateur programmer using Hexlet matrices.

Research methods. Conceptual structuring can solve the problem of building a holistic view (conceptual framework) in the field of IT knowledge outside of formal education. The Hexlet matrix structures the programmer's competencies and tests professional competencies. Analysis of statistical data on the use of modern IT technologies and tools helps to structure research in the field of the popularity of languages and programming tools.

The main results of the study. The proposed model identifies the order of studying subjects for independent mastering skills in IT, which makes it possible to understand which disciplines are more needed and which ones are less important for work in a certain area of IT. The optimized matrix provides insight into acquired programming skills beyond the fundamentals.

Scientific novelty. Informal vocational training and recognition of its results is a novelty for Ukraine. People working in the IT industry pay a lot of attention to their professional and personal development, therefore, for an adequate assessment of skills, they need customized methods – “tailored” to the needs of the IT industry.

Practical significance. For practical testing of the results obtained, an experiment was carried out on the basis of the Nova Kakhovka Instrument-Making Vocational College. The students who study Economics and independently acquire professional competencies in the field of IT were interviewed and assessed according to the proposed model. The results of the experiment testify the practical value of the proposed models, which can be used to support decision-making on the independent study of information technologies and assess the acquired qualifications.

Key words: *programmer, programming, qualification assessment, self-education*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДОВ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЦЕНКИ КВАЛИФИКАЦИИ ПРОГРАММИСТА

Екатерина Полибина,

аспирантка кафедры программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: e.v.polibina@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6727-1890

Аннотация. На сегодня в Украине спрос на построение карьеры в IT растет. Это обусловлено развитием информационных технологий, и как следствие, расширением рынка труда и роста уровня заработной платы в области IT. Ассоциация «IT Ukraine» [1] разработала унифицированный перечень требований и рекомендаций к специалистам junior-уровня. Перечень включает три наиболее популярные и востребованные IT-специализации – разработку, тестирование и автоматизированное тестирование программного обеспечения. Чтобы начать работу в IT, junior-разработчик должен обладать навыками программирования HTML / CSS на среднем уровне, JavaScript и NET на начальном уровне [2].

Целью статьи является исследование возможностей использования концептуальной модели структуризации и визуализации знаний по программированию для изучения вне рамок формального образования и метода оценки квалификации программиста-любителя с помощью матриц Hexlet.

Методы исследования. Концептуальная структуризация решает проблему построения целостного представления (концептуального каркаса) в области IT знаний вне формального образования. Матрица Hexlet структурирует компетенции программиста и тестирует профессиональные компетенции. Анализ статистических данных использования современных IT технологий и инструментов позволяет структурировать исследования в области популярности языков и инструментальных средств программирования.

Основные результаты исследования. Предложенная модель предлагает порядок изучения предметов для самостоятельного освоения IT специализации, что позволяет понять, какие дисциплины нужнее, а какие – менее значимы для работы в определенной области IT. Оптимизированная матрица дает понимание приобретенной квалификации в программировании вне усвоения фундаментальных основ.

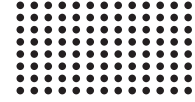
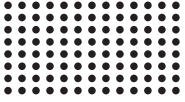
Научная новизна. Неформальное профессиональное обучение и подтверждение его результатов является новеллой для Украины. Работающие в IT-индустрии специалисты уделяют очень много внимания своему профессиональному и личностному развитию, поэтому для адекватной оценки навыков здесь нужны кастомизированные – «подогнанные» под нужды IT отрасли методы.

Практическая значимость. Для практического подтверждения полученных результатов, проведен эксперимент на базе Новокаховского приборостроительного профессионального колледжа. Были опрошены и протестированы студенты, которые учатся на экономических специальностях и самостоятельно приобретают профессиональные компетенции в области IT по предложенной модели. Результаты эксперимента подтвердили практическую ценность предложенных моделей, которые могут быть использованы для поддержки принятия решений по самостоятельному изучению информационных технологий и оценки приобретенной квалификации.

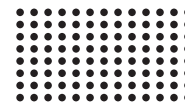
Ключевые слова: программист, программирование, оценка квалификации, самообразование.

REFERENCES:

1. IT Ukraine Association (2021). *Official website software development companies*. Retrieved from <https://itukraine.org.ua> (in Ukr.)
2. IT Ukraine Association (2018). *Get into IT: The business has introduced a list of key requirements for juniors*. Retrieved from <https://itukraine.org.ua/potrapi-v-it-provn-kompan-rinku-sformuvali-dinij-perelk-klyuchovix-vimog-do-molodix-speczstv.html> (in Ukr.)
3. Ivanova, L.V., Skornyakova, O.V. (2018). Softskills as an important component of the competitiveness of an information technology specialist. *Young Scientist*, 12, 83–87. (in Ukr.).



4. Zemnukhova, L.V. (2013). IT specialists are more likely to love their job: to discussing research results. *Peterburgskaya sotsiologiya segodnya (Petersburg Sociology Today)*, 4, 88–115. (in Russ.).
5. Zemnukhova, L.V. (2013). Information technology as a professional environment. *Sotsiologicheskii zhurnal (Sociological Journal)*, 4, 50–58. (in Russ.).
6. Lethbridge, Timothy C. (2000). The Relevance of Software Education: A Survey and Some Recommendations. *Annals of Software Engineering*, 5, 3–19.
7. Stolyar, S.E. (2015). Internet School of Programming. *Kompyuternye instrumentyi v obrazovanii (Computer Tools in Education)*, 1, 55–62.
8. Prihozhy, A.A., Zhdanovsky, A.M. (2018). Method for assessing qualifications and optimization of professional groups of programmers. *Sistemnyiy analiz i prikladnaya matematika (Systems Analysis and Applied IT)*, 2, 4–11. (in Russ.).
9. HackerRank (2021). *Official website the platform to identify and hire developers*. Retrieved from <https://www.hackerrank.com> (in English).
10. Habr, Statistics in IT (2021). *HackerRank rating: the best programmers – in China, Russia and Poland*. Retrieved from <https://habr.com> (in Russ.).
11. Hexlet (2021). *Teaching programming*. Retrieved from <https://ru.hexlet.io> (in Russ.).
12. Computer Science (2021). *Programmer Competency Matrix*. Retrieved from <https://sijinjoseph.com/programmer-competency-matrix> (in English).
13. Red Monk (2021). *Official website of the Red Monk analytical company*. Retrieved from <http://redmonk.com> (in English).
14. Cass, S. IEEE Spectrum (2020). *The 2020 Top Programming Languages*. Retrieved from <http://spectrum.ieee.org> (in English).



ВДОСКОНАЛЕННЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D МОДЕЛІ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ VR ШОЛОМУ OSVR HDR2

УДК 004.371.378

DOI

Володимир Шерстюк,

д.т.н, професор, завідувач кафедри Програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-9096-2582

Дмитро Чорний,

аспірант кафедри Програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: djchernuy@gmail.com, ORCID 0000-0001-5323-5071

Анотація. В даний час тривимірна візуалізація активно застосовується в різних сферах людської діяльності, у тому числі для моделювання надзвичайних ситуації (НС). Існує значна кількість програмних продуктів для 3D моделювання різних НС.

Оскільки НС виникає несподівано і розвивається спонтанно, діяти потрібно оперативно і точно. Маючи 3D-модель потенційно небезпечного об'єкта можна оцінити зону можливих руйнувань, змоделювати саму НС; а також розробити заходи щодо запобігання та план ліквідації НС, стосовно до даного конкретного об'єкту чи місця, де прогнозується НС.

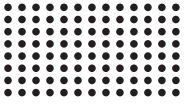
Методи дослідження. В роботі використані методи наукових досліджень такі як: експеримент, аналіз результатів діяльності. Із теоретичних методів дослідження використані: аналіз, синтез, порівняння.

Основні результати дослідження. Створена 3D модель та візуалізація проведення аварійно рятувальних робіт в умовах НС, яка забезпечує можливість прийняття оптимального рішення відносно: оперативного доступу до об'єктів електропостачання, газопостачання, водопостачання. Запропонований спосіб візуалізації сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій із застосуванням шолому OSVR HDR2.

Наукова новизна. Створена 3D модель та візуалізація проведення аварійно рятувальних робіт в умовах НС, яка забезпечує можливість прийняття оптимального рішення із застосуванням шолому OSVR HDR2. Створена методика і система 3D-моделювання проектних рішень, яка дозволяє оцінювати адекватність отриманих проектних рішень вихідним вимогам на створення 3D ГІС і можливість корекції для їх поліпшення.

Практична значимість. Основні результати дослідження представляють цінність при проектуванні і створенні 3D ГІС в областях застосування, пов'язаних з необхідністю відображення ситуаційної обстановки на основі запропонованих в статті методик, алгоритмів, засобів автоматизації проектування і моделювання.

Ключові слова: 3D ГІС модель, візуалізація, прийняття оптимального рішення, шолом OSVR HDR2.



Постановка проблеми. Існуючі реалізації розробники 3D ГІС спрямовані переважно на роботу з двовимірною обстановкою, підходів до моделювання якої створено досить багато. Однак на відображення тривимірної обстановки ці підходи не орієнтовані. У зв'язку з цим багато розробники 3D ГІС стикаються з питанням створення таких систем «з нуля» або з використанням вже існуючих «движків», мають обмежену функціональну розширюваність. При розробці «з нуля» потрібні досить великі фінансові витрати і численний персонал, що складається з висококваліфікованих програмістів. У разі використання готових «движків» часто виникає проблема створення програмного інтерфейсу для їх взаємодії з розроблюваною 3D ГІС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні геоінформаційні системи володіють достатньо широким комплексом можливостей, але з постійним розвитком технологій та зростанням вимог до інформаційних комплексів завжди є потреба вдосконалювати та ускладнювати геоінформаційні системи, тим самим ускладнюючи розрахунки, збільшуючи кількість операцій на одиницю часу, отримуючи тим самим більшу точність та достовірність результатів. Більшість сучасних ГІС здійснюють комплексну обробку інформації, використовуючи такі функції: введення і редагування даних, підтримка моделей просторових даних, зберігання інформації, перетворення систем координат і трансформація картографічних проекцій, растрово-векторні операції, вимірвальні операції, полігональні операції, операції просторового аналізу, різні види просторового моделювання, цифрове моделювання 105 рельєфу та аналіз поверхонь, подання результатів у різних формах, а також багато різних специфічних, залежно від призначення системи, функцій моделювання. Визначення максимального переліку вимог до геоінформаційної системи сьогодні є одним із найважливіших кроків у моделюванні таких систем [1].

Мета дослідження. Метою є аналіз можливостей і розробка систем і засобів автоматизації проектування і моделювання 3D ГІС відображення ситуаційної обстановки для зниження тимчасових і фінансових витрат, зменшення складності проектування та рівня знань проектувальника.

Виклад матеріалу дослідження. Тривимірне моделювання дозволяє проводити моніторинг контролю стану об'єктів і їх технологічних систем з метою зменшення ймовірності його виникнення.

На потенційно небезпечних об'єктах 3D-моделювання можна застосовувати для дистанційного навчання заходам запобігання, ліквідації та оцінки наслідків НС.

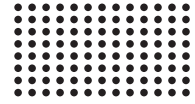
Актуальним є використання 3D моделювання в контексті практичного вирішення різних прикладних задач з прогнозування надзвичайних ситуацій та моделювання їх за допомогою віртуальної реальності. Пропонується використання шолому (якого? Напиши повну назву) для візуалізації наслідків прогнозованої НС.

Існує багато різних способів створення тривимірних моделей, кожен з яких застосовується для вирішення прикладних задач в тій чи іншій сфері діяльності. Тривимірні геозображення є додатковим інформаційним забезпеченням ГІС, призначеним для вирішення завдань з моніторингу навколишнього середовища з метою запобігання НС, планування і ведення оперативних дій по ліквідації наслідків НС та мінімізації збитків. Крім того 3D моделі покликані вирішувати такі завдання:

- візуалізація топології засобів пожежного захисту кабельних коридорів та інших приміщень будівель;
- візуалізація топології кабельних зв'язків по приміщеннях будівель;
- моделювання аварійних ситуацій;
- моделювання заходів щодо локалізації та усунення наслідків аварійних ситуацій;
- моделювання випадків виникнення пожежі з прокладкою і аналізом маршрутів евакуації;
- моделювання і візуалізація технологічних процесів експлуатації;
- навчання експлуатаційного і ремонтного персоналу на 3D моделях;
- створення тренажерів для навчання персоналу;
- підготовка технічних рішень по модернізації;
- верифікація проектних рішень по модернізації;
- інші завдання експлуатації.

3D моделювання в системі МНС – це процес створення тривимірної моделі об'єкта, де при загрозах і фактах виникнення надзвичайних ситуацій фахівці МНС здійснюють свою роботу за напрямками діяльності, використовуючи інформаційні ресурси паспортів територій [2].

Паспорт території – загальна довідкова інформація про географічне положення, соціально-економічне і адміністративне облаштування території, яка містить дані про ризики можливих надзвичайних ситуацій.



А ті, в свою чергу, є вихідними даними для формування угруповання сил, які служать вихідною інформацією при плануванні їх дій в умовах НС. «Загалом, це електронний документ оцінки ризиків на території. При виникненні НС, пожеж і соціально-значущих пригод. Оперативні штаби, оперативні групи, інші посадові особи структурних підрозділів МНС, задіяні в ліквідації їх наслідків, активно використовують даний документ». Карти, космічні знімки, схеми розстановки сил і засобів, фотоматеріали, відео 3D моделі також розробляються співробітниками. вимог до рівня знань проектувальника.

Тривимірна модель об'єкта призначена в першу чергу для інформаційного забезпечення планів дій щодо попередження та ліквідації НС, планів підвищення захищеності потенційно небезпечних, а також соціально-значущих об'єктів. У 3D моделях вказується розташування об'єктів з прив'язкою місцевості. Це необхідно для того, щоб в подальшій роботі з моделлю була можливість швидко та адекватно відносно ситуації розосередити сили і засоби, які залучаються до можливої НС на території об'єкта.

3D модель дозволяє розрахувати час евакуації людей, зробити цей процес більш оптимальним. При розрахунку пожежних ризиків і часу евакуації використовуються методики, розроблені фахівцями. Методика може застосовуватися як керівництво і рекомендації експертів в системі оцінки ризику, при цьому якісний результат використання даної методики, може бути досягнутий тільки при її сумлінному застосуванні кваліфікованими компетентними фахівцями.

Однак для отримання високоточної, достовірної та повної інформації про об'єкти культурної спадщини необхідно показати всі об'єкти тематичного змісту в їх різноманітті, що передбачає створення ГІС або геопорталу [3].

Інструментарій ГІС дозволяє створити картографічну працю, яка може мати як науково-довідковий характер, так і використовуватися широким колом споживачів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити цілий ряд завдань:

- провести аналіз і диференціацію об'єктів, які підлягають картографуванню і розробити умовні позначення;
- визначитися з програмним забезпеченням і методикою створення ГІС;

- розробити структуру ГІС;
- скласти загальногеографічну мультимасштабну основу;
- нанести на основу елементи тематичного змісту;
- провести апробацію роботи ГІС.

На сучасному етапі багато розробників геоінформаційних систем приділяють велику увагу можливостям роботи в тривимірній сцені. Стало можливим представляти накопичені роками різні геопросторові дані (векторні карти, топографічні плани, дані дистанційного зондування, результати моделювання) в тривимірному вигляді і виконувати геопросторову обробку. Однак слід визнати, що так званий «движок» тривимірної сцени значно поступається в швидкості та ефективності пакетам тривимірного моделювання і маніпулювання тривимірною сценою в ГІС, перевантаженій вбудованими 3D моделями, досить проблематично. Крім того, створення безпосередньо 3D примітивів значно зручніше в пакеті, ніж в ГІС. У зв'язку з цим необхідно знайти якесь оптимальне співвідношення, яка система і за що буде «у відповіді».

Виходячи з призначення геоінформаційного зображення і, не претендуючи на винятковість і унікальність нашого рішення, будемо вважати: основою побудови геоінформаційного зображення є геоінформаційна система, яка дозволяє інтегрувати різноманітні дані (карти, знімки, фотографії, плани та ін.) За рахунок просторової складової і має багатий функціонал аналітичних можливостей. Це особливо важливо при оперативному вирішенні завдань, коли в найкоротші терміни необхідно додати нові дані, розрахувати оптимальні маршрути, змодельовати надзвичайну ситуацію і т.п. При виборі ГІС слід орієнтуватися на стандарти, зокрема, ГІС ArcGIS від компанії ESRI як відкриту масштабовану систему. Система має технічну і консультативну підтримку і представлена повною лінійкою продуктів від мобільних, настільних додатків до серверних рішень [4].

ГІС повинна бути доповнена спеціалізованими модулями, що дозволяють вирішувати тематичні завдання. Стосовно до ArcGIS Desktop рекомендується використання наступних модулів: «3D Analyst» для тривимірного відображення і маніпулювання тривимірним зображенням, «Network Analyst» для вирішення мережевих транспортних завдань, «Ризик НС (оператор)» для моделювання техногенних НС.

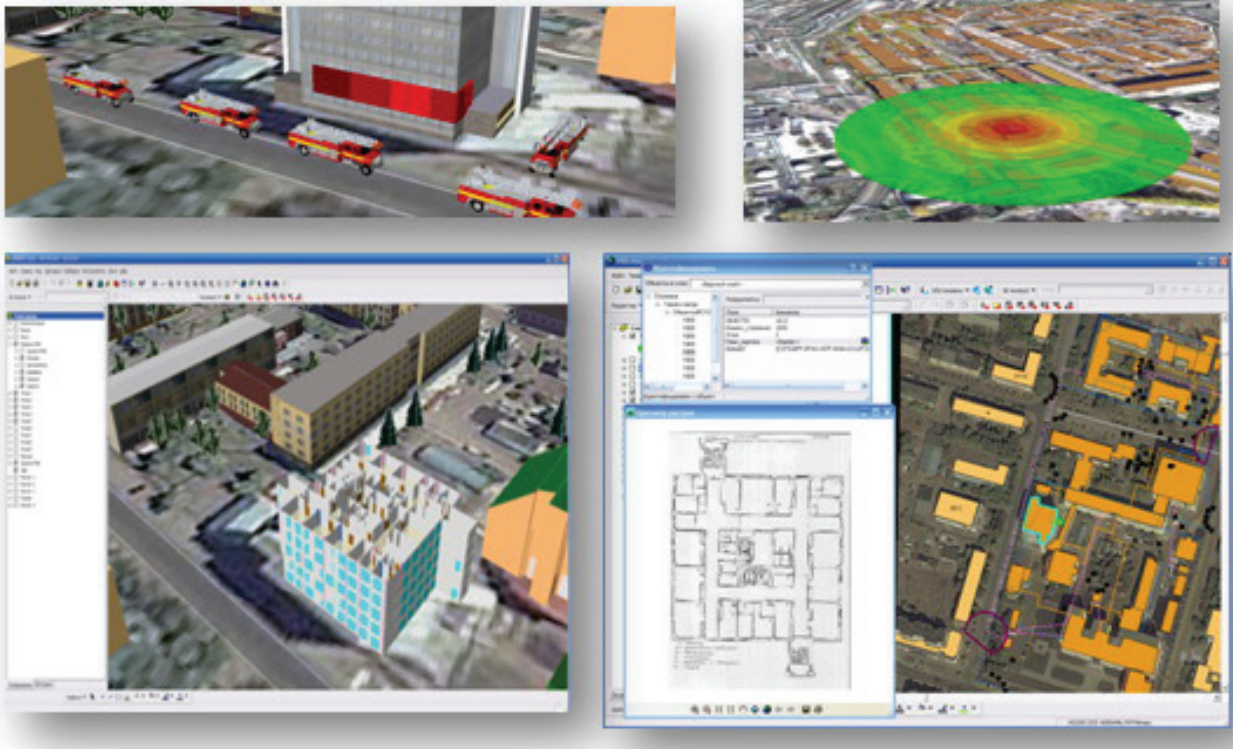
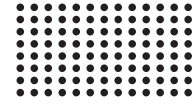


Рис. 1 – Приклади роботи ГІС, візуалізація фото з дронів

Створення «красивої» тривимірної картинки не є самоціллю. Для експерта досить орієнтації в просторі, а для цього можна використовувати текстури і нескладні примітиви. Набагато важливіше отримання необхідної інформації з точки зору як виникла НС і аналіз ситуації. Наприклад, оцінити вогнестій-

кість стін, розрахувати зону ураження, визначити число потерпілих та ін. Це можна реалізувати за рахунок зберігання атрибутивної інформації та спеціалізованих модулів. Показано на рис. 2 використання дронів, що роблять знімки з висоти, моніторять поля, створюють 3D-карти [5].



Рис. 2 – Приклади використання дронів що роблять знімки з висоти, моніторять місцевість, створюють 3D-карти

Безпілотники можуть виконувати різноманітні операції:

- Аерофотозйомка з дрона значно краще зйомки з супутника за своєю детальністю, за рахунок невеликої висоти польоту.

- Відеозйомка – продуктивність літального апарату при відеозйомці досягає 30 км за 1 годину, що істотно знижує часові та фінансові витрати в порівнянні з використанням наземної техніки.

- 3D моделювання – дозволяє визначити перезволожені або посушливі території, виїмку ґрунту, грамотно створювати плани і карти зволоження або осушення ґрунту, рекультивативі ділянок або меліорації земель.

- Тепловізійна зйомка – здійснюється із застосуванням усього спектру інфрачервоного випромінювання: ближнього, середнього і далекого діапазону. Дослідження дає можливість визначити терміни диференціювання точок зростання, що безпосередньо впливає на врожайність і збереження продуктивних властивостей рослин зі збереженням спадкових можливостей сорту.

- Лазерне сканування – застосовується для аналізу місцевості на важкодоступних або недоступних територіях. Даний метод забезпечує отримання точної моделі високої щільності з детальним відображенням рельєфу навіть при роботі в умовах сильної загущеності насаджень.

Сучасні безпілотні системи вирішують наступні завдання:

- 1) оцінка якості посівів і виявлення пошкодження або загибелі культур;
- 2) визначення точної площі;

- 3) аудит і інвентаризація земель;
- 4) визначення дефектів посіву і проблемних ділянок;
- 5) аналіз ефективності заходів, спрямованих на захист рослин;
- 6) моніторинг відповідності структури та планів сівозміни;
- 7) виявлення відхилень і порушень, допущених в процесі агротехнічних робіт;
- 8) аналіз рельєфу і створення карти вегетаційних індексів PVI, NDVI;
- 9) збір інформації для служби безпеки, в тому числі з виявленням факту незаконного випасу худоби на полях;
- 10) супровід будівництва систем меліорації;
- 11) моніторинг;
- 12) внесення трихограми;
- 13) створення карт;
- 14) підрахунок сходів і біологічної урожайності [9–10].

Для створення 3D примітивів використовувати загальнодоступні пакети. Рекомендується використовувати Google SketchUp. По-перше, для цього пакета є величезна бібліотека моделей у вільному доступі і регулярно поповнюється самими користувачами. По-друге, даний пакет має набір необхідних і достатніх коштів для 3D проектування і легкий в освоєнні, що дозволяє залучити до роботи простих користувачів. По-третє, формат зберігання моделі «skp» стає стандартом і підтримується в багатьох ГІС або може бути легко експортований в стандарти, які уже себе зарекомендували: «3ds», «dxf», «obj» і ін. [6].

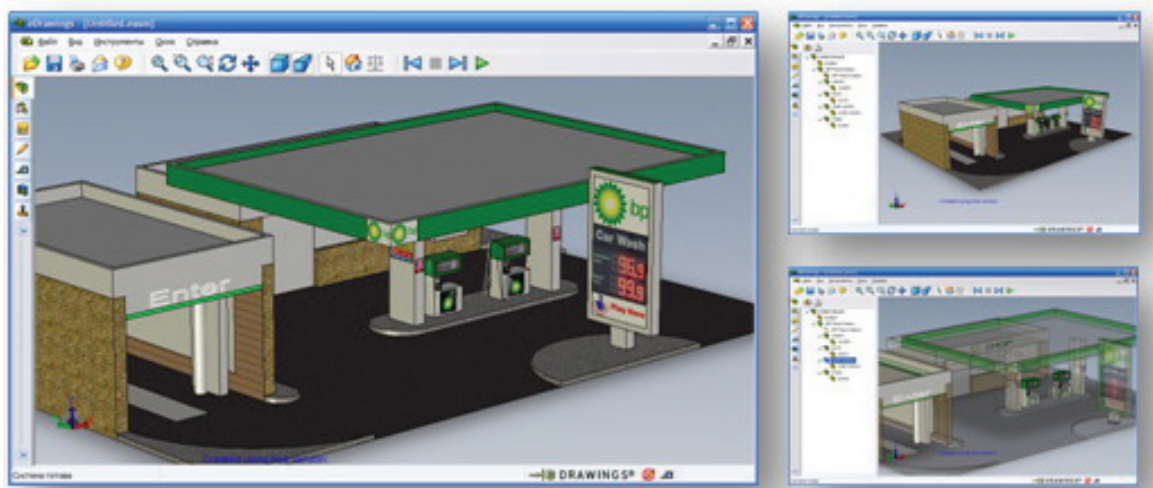


Рис. 3 – Створення 3d-моделей ГІС

Якщо використовувати модуль SketchUp «eDrawings», розроблений компанією SolidWorks, можна реалізувати 3D примітив в спрощеному вигляді (для вставки в тривимірну сцену ГІС) і детальному вигляді з відчуженням у вигляді окремо виконуваного файлу (для окремого запуску моделі). Тоді за рахунок простих посилань можна від тривимірної сцени ГІС перейти до детального примітиву, не навантажуючи ГІС зайвими деталями. В отриманій сцені eDrawings можна управляти навантаженням (вмикати / вимикати / робити прозорими елементи), маніпулювати, експортувати в інші формати і багато іншого.[8]

Візуалізація сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій має на увазі два етапи:

– створення тривимірних моделей потенційно-небезпечних об'єктів і об'єктів з масовим перебуванням людей;

– моделювання небезпечних природних і техногенних процесів.

В контексті візуалізації сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій високий пріоритет має оперативність моделювання з можливістю подальшого імпортування об'єкта. Ключовим, в контексті розв'язуваної задачі по візуалізації сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій, є другий етап. На другому етапі потрібно вибрати таке програмне забезпечення, яке здатне, по-перше, коректно імпортувати всі розроблені моделі потенційно-небезпечних об'єктів, по-друге, моделювати варіативні і абсолютно несхожі ситуації, враховуючи наявність різноманітних ризиків і джерел надзвичайних ситуацій. Саме шолом OSVR HDK (Hacker Developers Kit), створений для розробки під OSVR, який має бібліотеки віртуальної реальності, можливо використати з цією метою [7]. Приклади застосування цього приладу наведено на рис. 4.

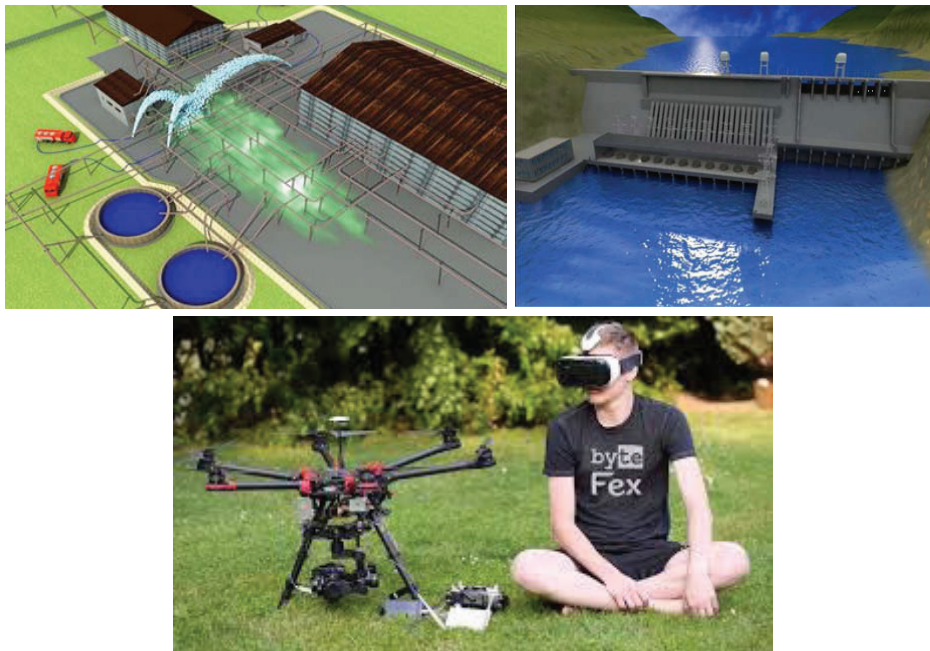


Рис. 4 – Приклади роботи з шоломом OSVR HDK2 для візуалізації

Висновок. Ефективним сучасним засобом аналізу і вдосконалення розроблених сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій є візуалізація із застосуванням технологій тривимірного моделювання.

Створення 3D моделей та візуалізація забезпечують оперативне прийняття оптимальних рішень на проведення аварійно рятувальних робіт; опе-

ративний доступ до об'єктів електропостачання, газопостачання, водопостачання. Пропонований спосіб візуалізації сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій із застосуванням шолому OSVR HDR2 є найбільш вдосконалим за рахунок його відкритого коду та підтримки відкритих бібліотек віртуальної реальності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Інформатизація космічного землезнавства / Під ред. О.І. Калашникова, Л.В. Сивай. – К. : Наукова думка, 2001 – 606 с.
2. Красовский Г.Я. Петросов В.А. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. – К. : Наукова думка, 2003. – 224 с.
3. Крета Д.Л., Перминова С.Ю. Особенности синтеза системы картографического обеспечения управления экологической безопасностью в Херсонской области // Ученые записки Таврического нац.университета. – Симферополь, 2007. – Т. 20 (59), № 1. – С. 90–97.
4. Постанова Кабінету Міністрів України № 1198 від 3 серпня 1998 року «Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру».
5. Постанова Кабінету Міністрів України № 2303 від 16 грудня 1999 року «Про створення урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій».
6. Яковлев Є. О. Геохімічні та екзогенні геологічні процеси як фактор техногенної перебудови геологічного середовища України в XXI сторіччі (теоретично-методичні аспекти) // Актуальні проблеми геології України.
7. Наукова конференція професорсько-викладацького складу геологічного факультету КНУ ім. Т.Г. Шевченко, 16–17 травня 2000 р. : матеріали доп. – Київ, 2000. – 4 с.
8. Волошкіна О.С., Перминова С.Ю., Романенко Г.М. До питання розрахунку міграції забруднюючих речовин в межах зон санітарної охорони підземних водозаборів // Екологія і ресурси: зб. наук. праць Інституту проблем національної безпеки. – К. : ІПНБ, 2007. – № 16. – С. 69–83.
9. Іванов Є.А. Досвід геоінформаційного картографування і моделювання стану природно-господарських систем гірничопромислових і постмайнінгових територій / Є.А. Іванов, Ю.М. Андрейчук, І.П. Ковальчук // Інтеграція геопросторових даних у дослідженнях природних ресурсів : матер. міжнарод. наук.-практ. конф. – К., 2014. – С. 69–72.
10. Іванов Є. Напівстаціонарні ландшафтно-екологічні дослідження в межах терикону шахти “Візейська” / Є. Іванов, Н. Лобанська // Стаціонарні географічні дослідження: досвід, проблеми, перспективи : матер. міжнарод. наук. семінару. – Львів, 2010. – С. 103–105.

IMPROVING THE VISUALIZATION OF THE 3D MODEL OF EMERGENCY DEVELOPMENT SCENARIOS WITH THE USE OF VR HELMET OSVR HDR2

Volodymyr Sherstyuk,

Professor, Head of Software and Technology Department,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-9096-2582

Dmitry Chornuy,

Postgraduate Student of Software and Technology Department,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: djchernuy@gmail.com, ORCID 0000-0001-5323-5071

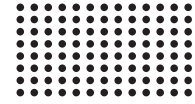
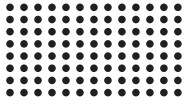
Abstract. Currently, three-dimensional visualization is actively used in various fields of human activity, including for emergency modeling (EM). There are a large number of software products for 3D modeling of various emergencies.

Since the emergency occurs suddenly and develops spontaneously, you need to act quickly and accurately. Having a 3D-model of a potentially dangerous object, you can assess the area of possible destruction, to simulate the emergency itself; as well as to develop measures to prevent and plan for the elimination of emergencies in relation to a particular object or place where an emergency is forecast.

Research methods. The methods of scientific research are used in the work, such as: experiment, analysis of results of activity. Among the theoretical research methods used: analysis, synthesis, comparison.

The main results of the study. A 3D model and visualization of emergency rescue operations in emergency situations has been created, which provides an opportunity to make an optimal decision regarding: operational access to electricity, gas and water supply facilities. A method of visualizing emergency scenarios using the OSVR HDR2 helmet is proposed.

Scientific novelty. A 3D model and visualization of emergency rescue operations in emergency situations has been created, which provides the opportunity to make the optimal decision using the OSVR HDR2 helmet. The technique and system



of 3D-modeling of design decisions which allows to estimate adequacy of the received design decisions to initial requirements for creation of 3D GIS and possibility of correction for their improvement is created.

Practical significance. The main results of the study are of value in the design and creation of 3D GIS in areas of application related to the need to reflect the situational situation on the basis of the proposed methods, algorithms, tools for automation of design and modeling.

Keywords: 3D GIS model, visualization, optimal decision making, helmet OSVR HDR2.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ 3D МОДЕЛИ СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ VR ШЛЕМА OSVR HDR2

Владимир Шерстюк,

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-9096-2582

Дмитрий Черный,

аспирант кафедры программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: djchernuy@gmail.com, ORCID 0000-0001-5323-5071

Аннотация. В настоящее время трехмерная визуализация активно применяется в различных сферах человеческой деятельности, в том числе для моделирования чрезвычайных ситуаций (ЧС). Существует значительное количество программных продуктов для 3D моделирования различных ЧС.

Поскольку ЧС возникает неожиданно и развивается спонтанно, действовать нужно оперативно и точно. Имея 3D-модель потенциально опасного объекта можно оценить зону возможных разрушений, смоделировать самую ЧС; а также разработать меры по предотвращению и план ликвидации ЧС, применительно к данному конкретному объекту или места, где прогнозируется ЧС.

Методы исследования. В работе использованы методы научных исследований такие как: эксперимент, анализ результатов деятельности. С теоретических методов исследования использованы: анализ, синтез, сравнение.

Основные результаты исследования. Создана 3D модель и визуализация проведения аварийно спасательных работ в условиях ЧС, которая обеспечивает возможность принятия оптимального решения относительно: оперативного доступа к объектам электроснабжения, газоснабжения, водоснабжения. Предложенный способ визуализации сценариев развития чрезвычайных ситуаций с применением шлема OSVR HDR2.

Научная новизна. Создана 3D модель и визуализация проведения аварийно спасательных работ в условиях ЧС, которая обеспечивает возможность принятия оптимального решения с применением шлема OSVR HDR2. Создана методика и система 3D-моделирования проектных решений, которая позволяет оценивать адекватность полученных проектных решений исходным требованиям на создание 3D ГИС и возможность коррекции для их улучшения.

Практическая значимость. Основные результаты исследования представляют ценность при проектировании и создании 3D ГИС в областях применения, связанных с необходимостью отражения ситуационной обстановки на основе предложенных в статье методик, алгоритмов, средств автоматизации проектирования и моделирования.

Ключевые слова: 3D ГИС модель, визуализация, принятия оптимального решения, шлем OSVR HDR2.



REFERENCES:

1. Kalashnykova, O. I. & Syvai, L.V. (Eds.) (2001). Informatization of space geology. Kyiv : Naukova Dumka. [In Ukrainian].
2. Krasovsky G.Ya., Petrosov VA, (2003). Information technologies for space monitoring of aquatic ecosystems and forecast of urban water consumption. Kyiv : Naukova Dumka. 224 p.
3. Crete D.L., Perminova S.Yu. (2007) Peculiarities of the synthesis of the system of cartographic support of ecological safety management in the Kherson region // Scientific notes of the Tauride National University. Simferopol. T. 20 (59). № 1. Pp. 90–97.
4. Zhuravska I.M., (2019) Heterogeneous computer networks of critical application based on swarms and flocks of UAVs. Mykolaiv : Chorny Publishing House. Nat. un-tu them. Petra Mogili. 192 p. ISBN 978-966-336-402-5.
5. Zhuravska IM, Musienko MP (2017) Synthesis of routes of sub-swarms of unmanned aerial vehicles using the Hopfield neural network for survey of territories. Radio Electronics, Computer Science, Control / Zaporizhzhya National Technical University. No. 3. P. 86–94. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-3-10. Web of Science.
6. Musienko M.P., Zhuravskaya I.M., (2017) Control system for unmanned aerial vehicles based on the use of mobile devices. Computer-integrated technologies: education, science, production / Lutsk. nat. tech. un-t. 2017. Vip. 26. S. 199–203. Index Copernicus.
7. Scientific conference of the teaching staff of the geological faculty of KNU. T.G. Shevchenko, May 16–17 : Materials add. Kyiv, 2000. 4 p.
8. Voloshkina O.S., Perminova S.Y., Romanenko G.M. (2007) On the issue of calculating the migration of pollutants within the sanitary protection zones of groundwater intakes // Ecology and Resources: Coll. Science. Proceedings of the Institute of National Security. K. : IPNB. № 16. P. 69–83.
9. Ivanov EA.(2014) Experience of geoinformation mapping and modeling of natural economic systems of mining and post-mining territories / E.A. Ivanov, Yu.M. Andreychuk, I.P. Kovalchuk // Integration of geospatial data in research of natural resources: Mater . international. scientific-practical conf. Kyiv . S. 69–72.
10. Ivanov E. (2010) Semi-stationary landscape-ecological research within the heap of the mine “Vizeiska” / E. Ivanov, N. Lobanska // Stationary geographical research: experience, problems, prospects: mater. international. Science. seminar. Lviv. S. 103–105.



ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ДАНИХ

УДК 004.9

DOI

Яків Повод,

аспірант кафедри програмних засобів і технологій, ХНТУ, Херсон, Україна,

E-mail: elornau@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8403-5945

Володимир Шерстюк,

доктор технічних наук, професор кафедри програмних засобів і технологій, ХНТУ, Херсон, Україна,

E-mail: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9096-2582

Анотація. Значна кількість методів машинного навчання мають обмеження на об'єм даних з якими вони можуть працювати. Зазвичай ці обмеження проявляють себе як надмірне споживання розрахункових ресурсів, або пам'яті. Так, як більшість алгоритмів машинного навчання мають розрахункову складність більшу ніж $O(n)$, при значному об'єму вхідних даних, ці алгоритми не зможуть знайти рішення за розумний час. Зменшення навчальної вибірки для цих алгоритмів підвищить швидкість їх роботи пропорційно до розрахункової складності алгоритмів.

У статті проаналізовано методи зменшення навчальної вибірки для деяких алгоритмів машинного навчання. Виміряно вплив зменшення навчальної вибірки на швидкодію та точність алгоритмів машинного навчання.

Метою даного дослідження є дослідження впливу різних алгоритмів зменшення початкової вибірки на взаємну точність різних моделей машинного навчання при прогнозуванні сонячної інсоляції.

Основні результати дослідження. Досліджено вплив початкової вибірки при наявності надлишкового об'єму даних на швидкодію алгоритмів машинного навчання, та на їх точність. Виміряно вплив прокляття розмірності при використанні значно зменшеної навчальної вибірки.

Науковою новизною є порівняння методів зменшення навчальної вибірки для передбачення сонячної інсоляції.

Ключові слова: машинне навчання, швидкодія, дані, сонячна інсоляція.

Постановка проблеми. Одним із методів передбачення сонячної інсоляції є використання машинного навчання на попередньо виміряних статистичних даних.

Існує значна кількість методів машинного навчання. Більшість цих методів можуть дати непогані результати, проте для різних наборів даних точність та швидкість роботи різних алгоритмів машинного навчання можуть відрізнятися. Додатково точність та швидкодія можуть

відрізнятися від параметрів алгоритмів машинного навчання. Так лише вибірка даних з 219 метеостанцій дає майже 2 мільйона точок. Використання більшої бази даних може призвести до того, що знайти оптимальну модель та параметри цієї моделі методом перебору буде неможливо за раціональний період часу.

Отже додатково було вирішено перевірити як змінюється взаємна точність моделей при зменшенні розміру навчальної вибірки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хоча з проблемою надмірного обсягу даних стикається велика кількість досліджень у різних сферах, на даний момент не має універсального метода вирішення цієї проблеми.

Питання зменшення навчальної вибірки даних піднімається в роботах Патель Ф.Н., Барбара Д., Дюмушель В., Фалуцос К., Хаас П., Хеллерстайн Дж., Іоаннідіс Ю., Севчик К. Серед останніх публікацій, в [9] було описано метод зменшення вибірки даних LiDAR, та порівняно з методом випадкової вибірки.

Зазвичай використання всього об'єму доступних даних дає найкращі результати. Проте в ситуаціях коли використовувати повний набір даних є неможливим. Одним з методів вирішення цього питання – є використання випадкової вибірки даних. Ефективність цього метода для задач кластеризації було досліджено в [6]. Цей метод дає можливість ігнорувати надлишкову інформацію, яка є у вхідних даних.

Хоча ігнорування надлишкової інформації дає змогу підвищити швидкодію моделі, цей метод може призвести до втрати важливих ознак, так як всі точки мають рівноцінне значення. Проте Хокон Кіле та Кетіл Улен [5] запропонували використовувати кластеризацію для збереження важливих характерних елементів з набору даних. Цей метод припускає, що вхідні дані мають у своєму складі певну кількість шуму, і для фільтрації цього шуму використовуються центри кластерів.

Мета дослідження. Зменшення навчальної вибірки зменшує об'єм інформації для навчання моделі машинного навчання, що має знизити її точність. Отже метою дослідження являється вимір впливу зменшення об'єму навчальної вибірки на точність роботи моделей для прогнозування сонячної інсоляції. Також дослідження впливу зменшення навчальної вибірки на взаємну точність моделей машинного навчання. А також

дослідження можливості збільшення швидкості знаходження оптимальних гіперпараметрів за допомогою зменшення навчальної вибірки.

Виклад матеріалу дослідження. В якості вхідних даних були обрані статистичні дані для прогнозування сонячної інсоляції. Ці дані отримані від найточніших метеостанцій з відібраних типових метеорологічних даних. Всього в наборі 1918438 точок. При чому кожна точка має 6 вхідних даних а саме: кут нахилу сонця над лінією горизонту, площа непрозорого хмарного покриву, загальна площа хмарного покриву, висота над рівнем моря, азимут на сонце, сонячне випромінювання без врахування атмосфери та 2 вихідних: Пряме сонячне випромінювання (DNI) та розсіяне сонячне випромінювання (DHI).

Для перевірки моделей дані було розділено на тестову та тренувальну групи. Розмір тестової групи складає 20% від тренувальної. Різні алгоритми були порівняні за наступними критеріями: пояснена дисперсія (EV), середнє квадратичне відхилення (RMSE), медіанна абсолютна похибка (MAE), коефіцієнт детермінації (R2), час навчання (TL) та час тестування на 525.6 тисячах точок (TT). Результати розрахунків занесені в таблицю 1.

Для більшої наочності для кожної моделі були побудовані графіки залежності вихідних даних від куту нахилу сонця над лінією горизонту, як найбільш впливової змінної (рис. 1–5).

Як можна зазначити з графіків, не зважаючи на високі тестові результати алгоритми на базі дерев рішень страждають від шуму, а також потребують значно більше розрахункових потужностей для передбачення значень у порівнянні із багат шаровим перцептором. Також найточніші алгоритми потребують значних ресурсів при навчанні. Додатково підвищити якість моделей можна за допомогою підбору гіперпараметрів,

Таблиця 1 – Метрики моделей побудованих на базі повного набору даних

Модель	EV	RMSE	R2	TL	TT
Лінійна регресія	0.625287	122.878952	0.625284	0.3283	0.0150
Поліноміальна регресія	0.816719	85.742865	0.816717	2.0109	0.2062
Регресія деревом рішень	0.814194	83.357597	0.814191	16.4844	0.0490
Random Forest	0.903148	60.150910	0.903146	1069.5313	3.5013
Багат шаровий перцептрон	0.896980	62.005843	0.896858	1030.8302	0.5856

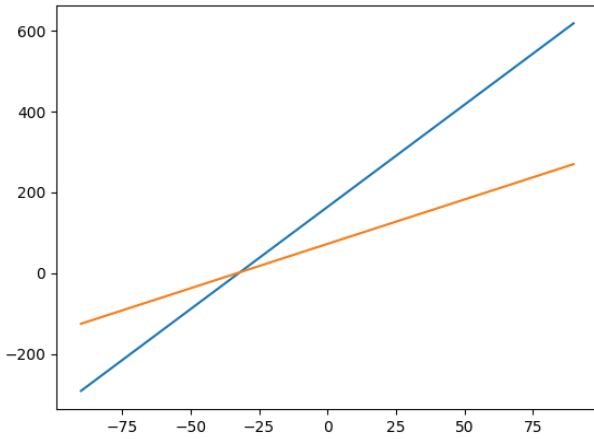
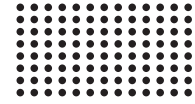


Рисунок 1 – Лінійна регресія

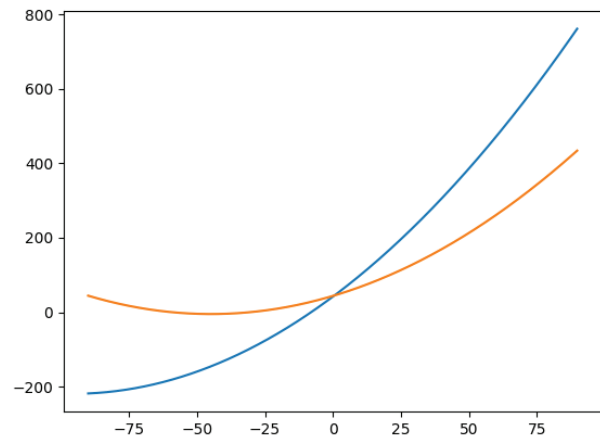


Рисунок 2 – Поліноміальна регресія

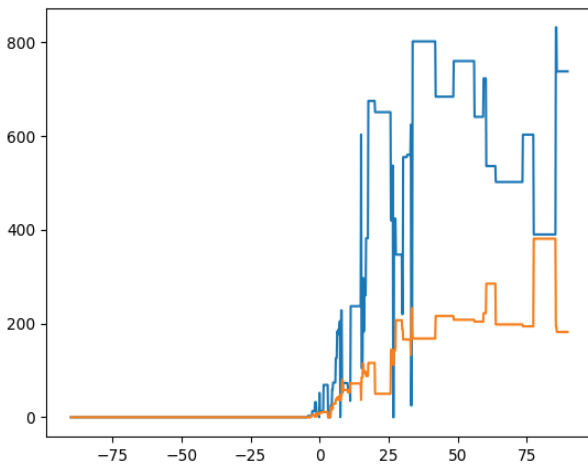


Рисунок 3 – Регресія деревом рішень

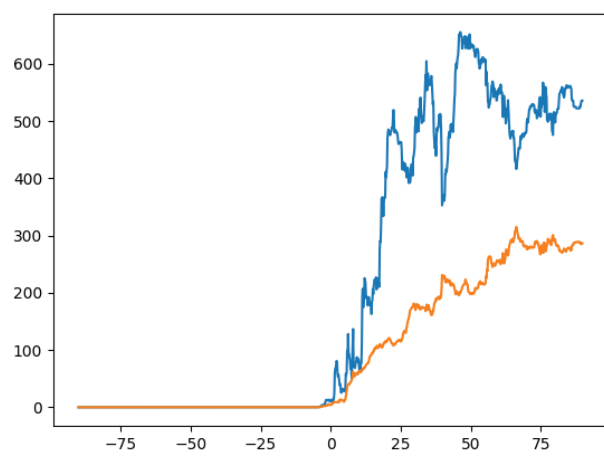


Рисунок 4 – Random Forest

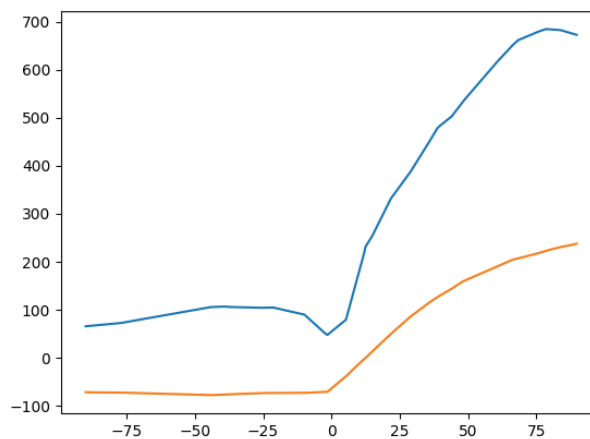


Рисунок 5 – Регресія за допомогою багатошарового перцептрона

проте із за довгого навчання на це необхідно витратити значну кількість розрахункових ресурсів.

Для вирішення цієї проблеми було запропоновано навчати модель лише на невеликій частині випадково обраних даних.

Так як точок тепер значно менше, процес навчання моделі проводиться із значно більшою швидкістю. Це дозволяє спробувати підбір гіперпараметрів для оптимізації цих алгоритмів. Отже були побудовані моделі для наборів даних з 46656, 3125 та 256 точками.

Результати перевірки цих моделей на такому самому наборі тестових даних, який проводився при перевірці моделей побудованих на повному наборі даних занесено в таблиці 2–4.

Таблиця 2 – Метрики моделей побудованих на базі випадкової вибірки даних для 46656 точок

Модель	EV	RMSE	R2	TL	TT
Лінійна регресія	0.625251	122.882795	0.625250	0.0380	0.0130
Поліноміальна регресія	0.816603	85.773208	0.816601	0.0470	0.1782
Регресія деревом рішень	0.791224	88.413800	0.791216	0.2993	0.0210
Random Forest	0.890927	63.873009	0.890925	16.1743	2.4668
Багат шаровий перцептрон	0.889021	64.410215	0.888368	13.4437	0.5400

Таблиця 3 – Метрики моделей побудованих на базі випадкової вибірки даних для 3125 точок

Модель	EV	RMSE	R2	TL	TT
Лінійна регресія	0.624931	122.965483	0.624764	0.0010	0.0120
Поліноміальна регресія	0.815037	86.184080	0.815024	0.0050	0.1797
Регресія деревом рішень	0.766261	94.170411	0.766249	0.0120	0.0210
Random Forest	0.882222	66.752122	0.882217	0.7667	1.6160
Багат шаровий перцептрон	0.811762	86.029162	0.811069	1.8928	0.5170
Random Forest 350	0.883062	66.502719	0.883054	1607.0191	5.9240
Оптимізований перцептрон	0.737982	93.107640	0.737975	630.7818	0.0641

Таблиця 4 – Метрики моделей побудованих на базі випадкової вибірки даних для 256 точок

Модель	EV	RMSE	R2	TL	TT
Лінійна регресія	0.614858	124.644501	0.614039	0.0010	0.0130
Поліноміальна регресія	0.773191	94.145401	0.772790	0.0010	0.1732
Регресія деревом рішень	0.695505	104.227557	0.695310	0.0020	0.0160
Random Forest	0.853006	73.328920	0.852704	0.1391	1.0500
Багат шаровий перцептрон	0.568294	132.175444	0.567450	0.2082	0.5455
Random Forest 60	0.852155	73.460619	0.851886	345.2720	0.6236
Оптимізований перцептрон	0.614437	124.702865	0.613774	146.2547	0.0561

Для більшої наочності були побудовані графіки для моделей Random Forest та багат шарового перцептрона для 46656 та 256 точок (рис. 6–9).

Використання випадкової вибірки дозволяє значно підвищити швидкість навчання, при цьому це не має значного впливу на точність. Так алгоритм Random Fores навчений на 256 точках дав результат значно кращий ніж лінійна регресія, знайдена за повним набором даних, при цьому час навчання моделі на випадковій вибірці був навіть менший. Оптимізація гіперпараметрів для алгоритму Random Fores в даному випадку не дала значного впливу на точність, а при оптимізації гіперпараме-

трів багат шарового перцептрона більший вплив мало випадкове початкове значення при ініціалізації вагів синапсів.

Так як данні зашумлені, збільшення точності при збільшенні розміру тренувальної вибірки може зумовлюватися тим, що модель отримує більше інформації для зменшення шуму. Розділення даних на кластери за допомогою методу k–середніх, та використання центральних точок кластерів має згладити шуми та значно зменшити кількість точок. Проте використання звичайного методу k–середніх, для такого об'єму даних призводить до необхідності використовувати

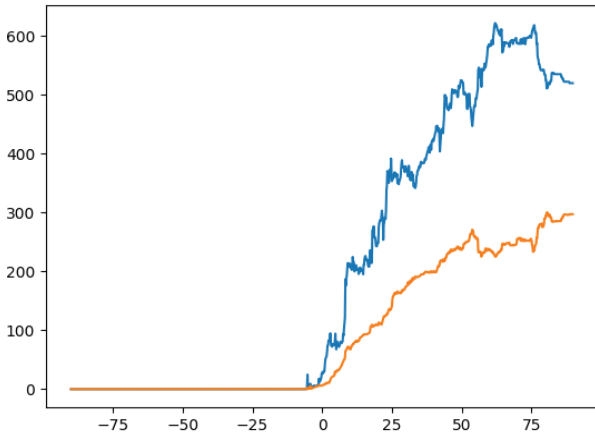
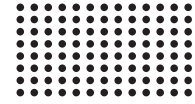
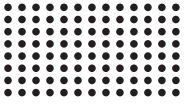


Рисунок 6 – Регресія Random Forest за 46656 точками

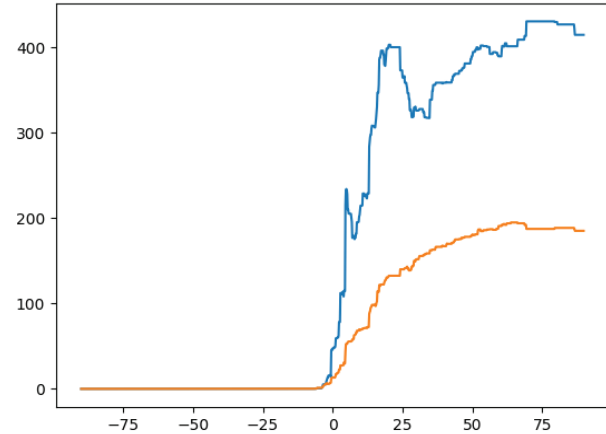


Рисунок 7 – Регресія Random Forest за 256 точками

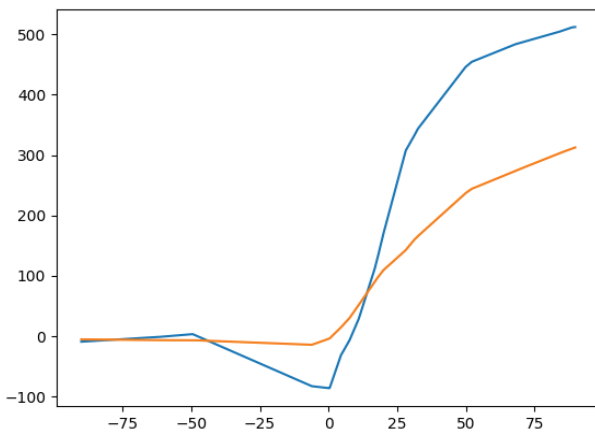


Рисунок 8 – Багатошаровий перцептрон за 46656 точками

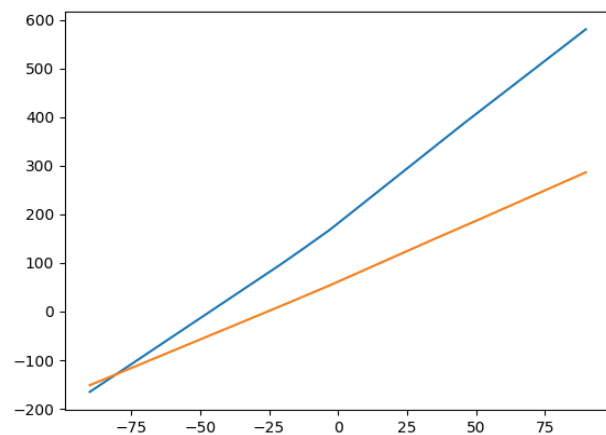


Рисунок 9 – Багатошаровий перцептрон за 256 точками

надмірно багато розрахункових ресурсів. Також розділення даних на пакети, та послідовне уточнення за допомогою методу к-середніх центрів кластерів дає значне підвищення швидкодії, причому має не значно

зменшувати точність результату. Отже дані були розділені на 46656, 3125, 256 точок. Час, який було затрачено на кластеризацію в залежності від кількості точок занесено в таблицю 5.

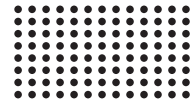
Таблиця 5 – Залежність часу кластеризації від кількості вихідних точок

Кількість точок	Час, с.
46656	3302.5406
3125	36.1358
256	68.4481
27	4.5222

Відповідно до цієї таблиці можна зробити висновок, що існує нелінійна залежність від кількості кластерів. Це може впливати на те, що існує верхня границя кількості кластерів, на яку вже не доцільно розбивати модель, так як проведення всіх необхідних досліджень можна буде провести на повному наборі даних за менший час.

Результати моделей побудованих за допомогою вибірки даних кластеризацією занесені до таблиць 6-8.

Для більшої наочності були побудовані графіки для моделей Random Forest та багатошарового перцептрона для 46656 та 256 точок (рис. 10-13).

**Таблиця 6** – Метрики моделей побудованих на базі кластеризованої вибірки даних для 46656 точок

Модель	EV	RMSE	R2	TL	TT
Лінійна регресія	0.491590	144.681186	0.490259	0.0090	0.0120
Поліноміальна регресія	0.791288	91.276680	0.790489	0.0450	0.1772
Регресія деревом рішень	0.794314	87.620376	0.794089	0.3889	0.0340
Random Forest	0.888659	64.565105	0.888445	22.2032	2.5003
Оптимізований перцептрон	0.885234	65.467897	0.885113	15.3079	0.5405

Таблиця 7 – Метрики моделей побудованих на базі кластеризованої вибірки даних для 3125 точок

Модель	EV	RMSE	R2	TL	TT
Лінійна регресія	0.456674	149.370304	0.455312	0.0010	0.0120
Поліноміальна регресія	0.776504	93.418590	0.775220	0.0050	0.1812
Регресія деревом рішень	0.784864	89.245941	0.784185	0.0170	0.0190
Random Forest	0.878035	67.582027	0.877275	1.0660	1.4609
Багат шаровий перцептрон	0.725737	107.539230	0.724772	1.8152	0.5045
Random Forest 140	0.878700	67.388178	0.877965	2167.8188	1.9868
Оптимізований перцептрон	0.661927	119.171927	0.658966	723.3256	0.0600

Таблиця 8 – Метрики моделей побудованих на базі кластеризованої вибірки даних для 256 точок

Модель	EV	RMSE	R2	TL	TT
Лінійна регресія	-0.027458	206.751648	-0.027687	0.0000	0.0120
Поліноміальна регресія	-0.716148	241.150022	-0.845401	0.0020	0.1837
Регресія деревом рішень	0.661489	127.412505	0.610520	0.0150	0.0140
Random Forest	0.633758	137.734278	0.566412	0.1551	0.9694
Багат шаровий перцептрон	0.567952	131.486897	0.565914	0.2092	0.5330
Random Forest 330	0.635827	137.401464	0.568320	375.0439	3.2040
Оптимізований перцептрон	0.193946	188.250720	0.193721	176.8661	0.0571

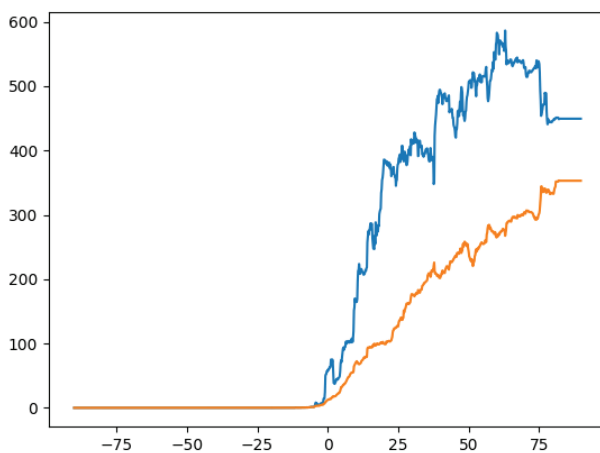


Рисунок 10 – Регресія Random Forest за 46656 точками

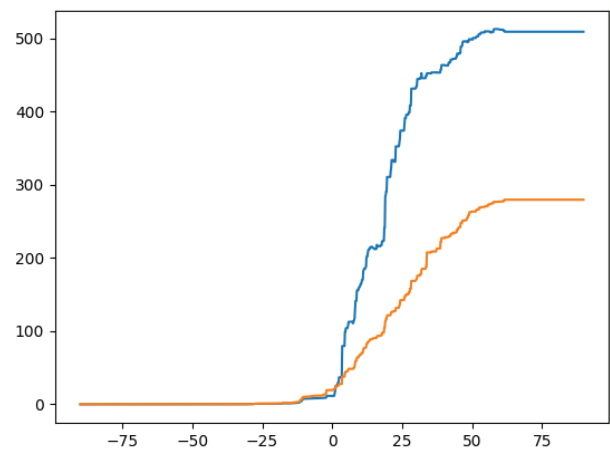


Рисунок 11 – Регресія Random Forest за 256 точками

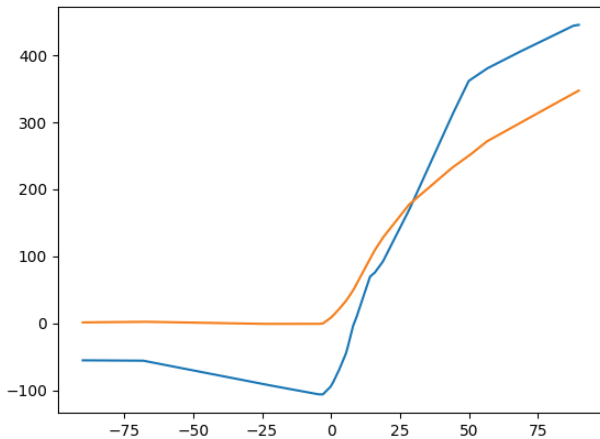


Рисунок 12 – Багатошаровий перцептрон за 46656 точками

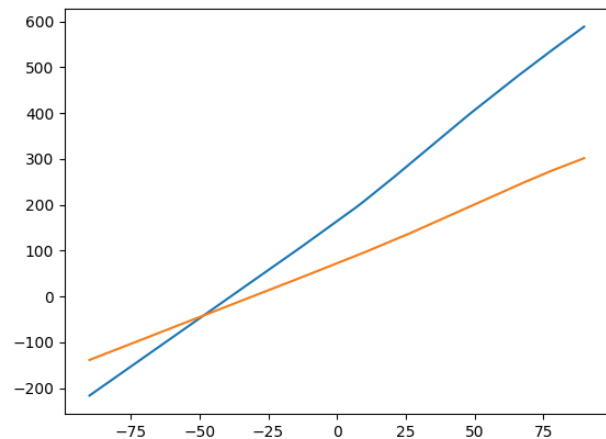


Рисунок 13 – Багатошаровий перцептрон за 256 точками

Не зважаючи на те, що кластеризовані дані мають бути менш зашумленими, точність одержаних моделей знаходиться на рівні близькому до даних отриманих випадковою вибіркою, а в деяких випадках навіть у гіршому стані.

Причиною цього може бути те, що данні отримані за допомогою кластеризації мають розподіл, який відрізняється від розподілу оригінального набору даних.

Також пресептрон значно втрачає точність при зменшенні розміру вибірки. Причиною цього може бути «прокляття розмірності», для перевірки цього, можна зменшити розмірність вхідних даних. Для зменшення розмірності використовувався алгоритм для знаходження оптимальної комбінації вхідних параметрів заданої кількості. Залежність коефіцієнта детермінації від кількості вимірів та кількості точок зображено в таблиці 9 та 10.

Таблиця 9 – Точність багатошарового перцептрона на випадковій вибірці даних

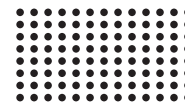
	6	5	4	3	2	1
46656	0.889021	0.887369	0.882440	0.886156	0.883539	0.642373
3125	0.811762	0.815706	0.834550	0.828208	0.834565	0.630194
256	0.568048	0.523668	0.594506	0.640980	0.635581	0.612262
27	0.067735	0.018385	0.021285	0.243897	0.543966	0.518505
4	-2.751225	-1.518638	-2.472216	-11.229447	0.540164	0.531449

Таблиця 10 – Точність багатошарового перцептрона на кластеризованих даних

	6	5	4	3	2	1
46656	0.885234	0.883998	0.884393	0.880177	0.880290	0.639043
3125	0.850628	0.857905	0.844665	0.837346	0.873672	0.632749
256	0.341854	0.538805	0.772292	0.795018	0.741028	0.606975
27	0.203687	0.189355	0.592604	0.663000	0.439170	0.532177
4	0.009273	-0.146042	0.201778	0.389213	0.303835	-0.277406

Згідно з даних таблиць 9 та 10 – точність моделей на невеликій вибірці даних при зменшенні розмірності вхідних даних збільшується. Що можна інтерпретувати як те, що моделі на базі багатошарового перцептрона страждають від «прокляття розмірності».

Окрім вибору моделі, важливим фактором можуть бути також гіперпараметри цієї моделі. Хоча оптимізація гіперпараметрів для моделі Random Forest не дала надійного результату, для багатошарового перцептрону більшість вибірок показувала найкращі резуль-



тати на однакових параметрах. Отже було вирішено перевірити ці параметри при навчанні моделі на пов-

ному наборі даних та побудовано графік оптимізованої моделі.

Таблиця 11 – Порівняння регресії багатозаровим перцептроном з оптимізованими гіперпараметрами

Модель	EV	RMSE	R2	TL	TT
Не оптимізована модель	0.896980	62.005843	0.896858	1030.8302	0.5856
Оптимізована модель	0.898714	61.485744	0.898712	1908.8021	1.6761

Також для перевірки було побудовано графік залежності куту сонця від кількості енергії для багатозарового перцептрона.

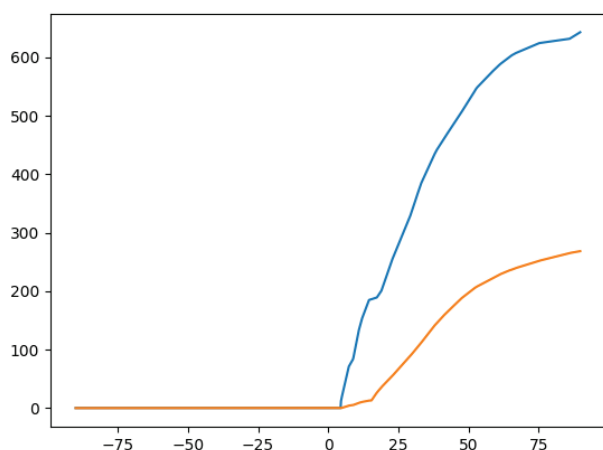


Рисунок 14 – Багатозаровий перцептрон з оптимізованими гіперпараметрами

Використання оптимізованих гіперпараметрів дещо підвищило точність моделі, а також модель з оптимізованими гіперпараметрами має найбільш близький вигляд до того, як має виглядати ідеальна модель.

Висновки.

1. Зменшення розміру навчальної вибірки дало змогу перевірити значну кількість моделей а також оптимізувати гіперпараметри цих моделей. Що дало змогу отримати більш точну модель, а також гра-

фік оптимізованої моделі має найбільшу схожість до ідеального.

2. Якщо є можливість пожертвувати незначними втратами в точності, то можна скористатися випадковою вибіркою даних для навчання моделі. Це дозволить в десятки або навіть в сотні разів зменшити час навчання.

3. Якщо об'єм даних настільки великий, що використання складних моделей для навчання на цьому наборі є неможливим, використання складних моделей натренованих на випадковій вибірці даних може дати кращий результат ніж навчання більш простих моделей на повному наборі даних

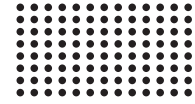
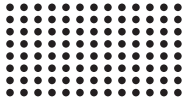
4. Мінімальний розмір вибірки обмежено розмірністю вхідних даних та мінімальною кількістю точок, яка необхідна для роботи алгоритму.

5. Використання кластеризації для зменшення вибірки даних для цього набору даних дає результати кращі за випадкову вибірку лише для багатозарового перцептрона, та при умові зменшення розмірності вхідних даних

6. Оптимізація гіперпараметрів та вибір моделі можна виконувати за допомогою зменшеної вибірки даних, так як точність різних моделей зберігається на широкому діапазоні розмірів вхідних даних. Проте, при значному зменшенні розміру вхідних даних, або при великій кількості вимірів вхідних даних на точність починає впливати «прокляття розмірності».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Barbara D. та ін. The new Jersey data Reduction Report [Електронний ресурс]. URL: <https://www.aminer.cn/pub/53e9a6aeb7602d9702fe32b6/the-new-jersey-data-reduction-report> (дата звернення: 29.04.2021).
2. Błaszczak-Bąk W. та ін. Down-sampling of large lidar dataset in the context of off-road objects extraction // Geosciences. 2020. Т. 10. № 6. С. 219.
3. Cebeci Z., Yildiz F. Efficiency of random sampling based data size reduction on computing time and validity of clustering in data mining // Journal of Agricultural Informatics. 2016. Т. 7. № 1.
4. Harell F.E. Regression modeling Strategies // Springer Series in Statistics. 2001.
5. Ingrassia S., Morlini I. Neural network modeling for small datasets // Technometrics. 2005. Т. 47. № 3. С. 297–311.



6. Kile H., Uhlen K. Data reduction via clustering and averaging for contingency and reliability analysis // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2012. Т. 43. № 1. С. 1435–1442.
7. Patel F.N. Large high dimensional data handling using data reduction // 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). 2016.
8. Pestov V. Is the k-nn classifier in high dimensions affected by the curse of dimensionality? // Computers & Mathematics with Applications. 2013. Т. 65. № 10. С. 1427–1437.
9. Sculley D. Web-scale k-means clustering // Proceedings of the 19th international conference on World wide web – WWW '10. 2010.

RESEARCH OF METHODS OF REDUCTION OF EDUCATIONAL SAMPLING OF DATA

Yakiv Povod,

Postgraduate Student of the Department of Software and Technologies, KNTU,
Kherson, Ukraine,
e-mail: elornau@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8403-5945

Volodymyr Sherstyuk,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Software and Technologies, KNTU, Kherson, Ukraine,
e-mail: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9096-2582

Abstract. Many machine learning methods have limitations on the amount of data they can work with. These limitations usually appear as excessive consumption of computing resources or memory. Since most machine learning algorithms have a computational complexity greater than $O(n)$, with a significant amount of input data, these algorithms will not be able to find a solution in a reasonable amount of time. Reducing the training sample for these algorithms will increase the computational speed in proportion to the calculated complexity of the algorithms.

The article analyzes the methods of reducing the sample for some machine learning algorithms. The influence of training sample reduction on the speed and accuracy of machine learning algorithms was measured.

The purpose of this study is to investigate the effect of different algorithms for reducing the initial sample on the mutual accuracy of different models of machine learning models for predicting solar insolation.

The main results of the study. The influence of the initial sample in the presence of excess data on the speed of machine learning algorithms and their accuracy has been studied. The effect of the dimensional curse was measured using a significantly reduced training sample.

A scientific novelty is the comparison of methods for reducing the educational sample to predict solar insolation.

Key words: machine learning, computational speed, data sampling, solar insolation.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДАННЫХ

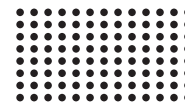
Яков Повод,

аспирант кафедры программных средств и технологий, ХНТУ, Херсон, Украина,
e-mail: elornau@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8403-5945

Владимир Шерстюк,

доктор технических наук, профессор кафедры программных средств и технологий, ХНТУ, Херсон, Украина,
e-mail: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9096-2582

Аннотация. Значительное количество методов машинного обучения имеют ограничения на объем данных с которыми они могут работать. Обычно эти ограничения проявляют себя как чрезмерное потребление вычислительных ресурсов, или памяти. Так, как большинство алгоритмов машинного обучения имеют вычислительную



сложность больше чем $O(n)$, при значительном объеме входных данных, эти алгоритмы не смогут найти решение за разумное время. Уменьшение обучающей выборки для этих алгоритмов повысит скорость их работы пропорционально расчетной сложности алгоритмов.

В статье проанализированы методы уменьшения обучающей выборки для некоторых алгоритмов машинного обучения. Измерено влияние уменьшения обучающей выборки на быстродействие и точность алгоритмов машинного обучения.

Целью данного исследования является исследование влияния различных алгоритмов уменьшения начального выборки на взаимную точность различных моделей машинного обучения при прогнозировании солнечной инсоляции.

Основные результаты исследования. Исследовано влияние начального выборки при наличии избыточного объема данных на быстродействие алгоритмов машинного обучения, и на их точность. Измерения влияние проклятие размерности при использовании значительно уменьшенной обучающей выборки.

Научной новизной является сравнение методов уменьшения обучающей выборки для предсказания солнечной инсоляции.

Ключевые слова: машинное обучение, быстродействие, данные, солнечная инсоляция.

REFERENCES

1. Barbara, D., Dumouchel, W., Faloutsos, C., Haas, P., Hellerstein, J., Ioannidis, Y., Sevcik, K. (n.d.). The new Jersey data Reduction Report. Retrieved April 29, 2021, from <https://www.aminer.cn/pub/53e9a6aeb7602d9702fe32b6/the-new-jersey-data-reduction-report>
2. Błaszczak-Bąk, W., Janicka, J., Suchocki, C., Masiero, A., & Sobieraj-Żłobińska, A. (2020). Down-sampling of large lidar dataset in the context of off-road objects extraction. *Geosciences*, 10(6), 219. doi:10.3390/geosciences10060219
3. Cebeci, Z., & Yildiz, F. (2016). Efficiency of random sampling based data size reduction on computing time and validity of clustering in data mining. *Journal of Agricultural Informatics*, 7(1). doi:10.17700/jai.2016.7.1.266
4. Harrell, F. E. (2001). Regression modeling Strategies. *Springer Series in Statistics*. doi:10.1007/978-1-4757-3462-1
5. Ingrassia, S., & Morlini, I. (2005). Neural network modeling for small datasets. *Technometrics*, 47(3), 297–311. doi:10.1198/004017005000000058
6. Kile, H., & Uhlen, K. (2012). Data reduction via clustering and averaging for contingency and reliability analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 43(1), 1435–1442. doi:10.1016/j.ijepes.2012.07.011
7. Patel, F. N. (2016). Large high dimensional data handling using data reduction. *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*. doi:10.1109/iceeot.2016.7754940
8. Pestov, V. (2013). Is thek-nn classifier in high dimensions affected by the curse of dimensionality? *Computers & Mathematics with Applications*, 65(10), 1427–1437. doi:10.1016/j.camwa.2012.09.011
9. Sculley, D. (2010). Web-scale k-means clustering. *Proceedings of the 19th International Conference on World Wide Web – WWW'10*. doi:10.1145/1772690.1772862



ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗВИТКУ ПРИРОДНИХ КАТАСТРОФ

УДК 004.67

DOI

Пальона Вікторія Юріївна,

аспірант кафедри програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: palenaya.v.wezom@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7857-2680

Кирийчук Дмитро Леонідович,

кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних засобів і технологій,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
E-mail: kidiam2@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4905-6932

Анотація. На території України можливе виникнення практично всього спектру небезпечних природних явищ і процесів геологічного, гідрогеологічного, метеорологічного, а також медико-біологічного походження, які є джерелами природних катастроф – масштабних ендегенних і екзогенних процесів, що призводять до людських жертв, великого екологічного і економічного збитків.

Тому актуальною науково-прикладною задачею є дослідження вже існуючих та розробка нових математичних моделей розвитку природних катастроф.

В роботі проведено дослідження математичних моделей розвитку природних катастроф геологічного, медико-біологічного походження та математичних моделей розвитку пожеж в природних екологічних системах.

Встановлено, що класичною моделлю поширення медико-біологічних катастроф є модель SIR. В моделі розглядається три групи індивідів: сприйнятливі до захворювання (Susceptible), інфіковані (Infected) і ті, що вже перехворіли (Recovered). Математично така модель задається системою диференціальних (безперервний час) або різницевих (дискретний час) рівнянь. Ці рівняння описують закон зміни чисельності груп індивідів протягом певного часу. В роботі розглянуто також моделі, що є похідними від SIR. Подано інформацію про найбільш розповсюджені з них.

Проведено дослідження математичних моделей, які дозволяють моделювати селеві, зсувні, обвальні процеси, гірські паводки з різним ступенем достовірності. Наведено опис основних типів моделей селевих і схилових процесів.

Проведено аналіз робіт, присвячених методикам прогнозу виникнення і поширення природних пожеж та його особливостям.

Ключові слова: математичне моделювання, медико-біологічна катастрофа, пожежі в природних екологічних системах.

Постановка проблеми. В останні десятиліття в Україні намітилася стійка тенденція зростання числа природних катастроф.

Джерелами природних катастроф є небезпечні природні явища, результатом впливу яких є зниження рівнів економічного, соціального та екологічного потенціалів країни.

Комплексний фізико-географічний аналіз небезпечних природних явищ на території України дозволив виділити понад 30 їх видів, які в залежності від механізму і природи походження, а також регулярності проявів можна класифікувати наступним чином [1]:

- геологічні небезпечні природні явища (зсуви, обвали, лавини, селі, абразія, ерозія, пилові бурі);
- гідрологічні небезпечні природні явища (повені, дощові паводки, підвищення рівня ґрунтових вод (підтоплення);
- метеорологічні небезпечні природні явища (бурі, урагани, смерчі (торнадо), шквали, град, зливи, снігопади, ожеледь, морози, хуртовини, тумани, посухи, сильна спека, суховій, заморозки);
- пожежі в природних екологічних системах (лісові і степові пожежі, пожежі на сільськогосподарських угіддях, торф'яні пожежі);
- медико-біологічні небезпечні природні явища, пов'язані з масовими інфекційними захворюваннями населення, тварин, ураженнями сільськогосподарських рослин хворобами та шкідниками.

На території України можливе виникнення практично всього спектру небезпечних природних явищ і процесів геологічного, гідрогеологічного, метеорологічного, а також медико-біологічного походження, які є джерелами природних катастроф – масштабних ендегенних і екзогенних процесів, що призводять до людських жертв, великого екологічного і економічного збитків.

Тому актуальною науково-прикладною задачею є дослідження вже існуючих та розробка нових математичних моделей розвитку природних катастроф.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [2] розглянуто визначення і загальні закономірності катастроф. Встановлено, що для їх прогнозу і математичного моделювання доцільно використовувати детерміновано-ймовірнісні моделі. Визначено вплив сполученого тепло – і масообміну на виникнення і розвиток деяких природних і техногенних катастроф

та запропоновано здійснювати еколого-математичний моніторинг потенційно небезпечних об'єктів.

В роботі [3] розглянуто завдання моніторингу і прогнозування природних катастроф. Особливу увагу приділено синтезу систем моніторингу навколишнього середовища, що забезпечують збір, зберігання і обробку необхідної інформації для розв'язку цих завдань. Розвинена нова концепція синтезу систем аерокосмічного моніторингу, що заснована на алгоритмах і методах екоінформатики і має за мету спільне використання інформаційних технологій і моделей еволюції підсистем навколишнього середовища. Праведно аналіз конкретних ситуацій виникнення природних катастроф.

В роботі [4] розглянуто новий теоретико-експериментальний підхід до оцінки ймовірності виникнення природних пожеж з використанням як детермінованих методів механіки суцільних багатофазних середовищ, так і методів теорії ймовірностей і математичної статистики. Наведено результати проведення експериментальних досліджень кінетики сушіння горючих матеріалів, а також особливостей виникнення і поширення природних пожеж.

В роботі [5] здійснено аналіз існуючих математичних моделей за впливом пожеж на природні комплекси. Запропоновано регресійну модель, яка враховує вплив сукупності пірогенних факторів, що впливають на відновлення компонентів природних комплексів після надзвичайних ситуацій, що виникли внаслідок природних пожеж.

В роботі [6] проведено якісну оцінку ролі математичного моделювання в прогнозуванні наслідків лісових пожеж. Визначено конкретні ролі математичних моделей фізичних процесів, що беруть участь у виникненні наслідків пожеж, в створенні інструментарію для прийняття рішень, що допомагає керівникам приймати більш обґрунтовані рішення при плануванні заходів по боротьбі з лісовими пожежами.

При оцінці потенційної корисності математичних моделей в цих ролях введено нову таксономію ефектів лісових пожеж, що заснована на довголітті ефекту, тимчасової затримки між вогнем і появою ефекту і відстанню між вогнем і ефектом. Фізичні процеси також використано для математичного моделювання, в якості факторів, що ускладнюють реалізацію або використання моделей. В роботі авторами визначено такі способи моделювання: теплопередача в умовах пожеж та

поблизу них; процеси і продукти спалювання; хімічна і фізична реакція ґрунтів, що підігріваються полум'ям; ерозія і гідрологія районів, постраждалих від пожеж; рідинна механіка вітру і вогню; перенесення і розсіювання вогневих викидів в атмосфері; глобальний вплив на атмосферу.

В роботі [7] побудовано модифіковану SIRS-модель розповсюдження епідемій у вигляді решітки стохастичних клітинних автоматів. У моделі використано динамічне регулювання чисельності населення з обмеженням максимального числа індивідів популяції і впливом захворювання на процеси відтворення. Виявлено, що в залежності від керуючих параметрів модель демонструє чотири різних сталих режиму: вимирання популяції, стаціонарний перебіг захворювання, повне вилікування популяції, самопідтримні коливання числа інфікованих, що супроводжуються коливаннями загальної чисельності популяції. Останній режим проявляється поблизу кордону зони повного вилікування і характеризується нерегулярними коливаннями кількості хворих з вираженою пері-

одичної складової. Показано, що при періодичній зміні параметрів модель демонструє зашумлені періодичні або квазіперіодичні коливання

Мета дослідження. Метою є дослідження математичних моделей розвитку природних катастроф.

Виклад матеріалу дослідження. Класичною моделлю поширення медико-біологічних катастроф є модель SIR [7, 8–11].

В моделі розглядається три групи індивідів: сприйнятливі до захворювання (Susceptible), інфіковані (Infected) і ті, що вже перехворіли (Recovered).

Передача інфекції здійснюється від інфікованих індивідів до сприйнятливих. Ті індивіди, що вже перехворіли набувають імунітету і не можуть бути заражені вдруге.

Математично такі моделі задаються системами диференціальних (безперервний час) або різницевих (дискретний час) рівнянь. Ці рівняння описують закон зміни чисельності груп індивідів протягом певного часу.

Нині існує багато моделей, що є похідними від SIR. На рис. 1 подано інформацію про найбільш розповсюджені з них [8].

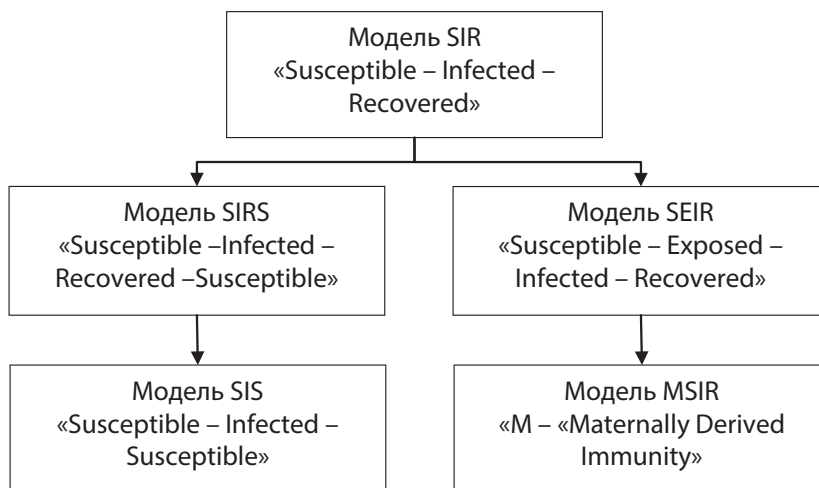


Рис. 1 – Моделі поширення медико-біологічних катастроф

Модель SIRS – «Сприйнятливі – Інфіковані – Ті, що видужали – Сприйнятливі». Модель, що описує динаміку захворювань з тимчасовим імунітетом (Ті індивіди, що видужали з часом знову стають сприйнятливими).

Модель SEIR – «Сприйнятливі – Контактні – Інфіковані – Ті, що видужали». Модель, що описує поширення захворювань з інкубаційним періодом.

Модель SIS – «Сприйнятливі – Інфіковані – Сприйнятливі». Модель, що описує поширення захворювання, до якого не виробляється імунітет.

Модель MSEIR – «Наділені імунітетом від народження – Сприйнятливі – Контактні – Інфіковані – Ті, що видужали». Модель, що враховує імунітет дітей, набутий внутрішньоутробно.

Застосування моделі SIR дозволяє точно моделювати епідемії грипу та інших захворювань у великих містах.

Модель SIR описується системою диференціальних рівнянь 1-6 [8-11].

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta IS}{N}, \quad (1)$$

де $S(t)$ – чисельність сприйнятливих індивідів в момент часу t ;

$I(t)$ – чисельність інфікованих індивідів в момент часу t ;

$R(t)$ – чисельність індивідів, що вже перехворіли в момент часу t ;

β – коефіцієнт інтенсивності контактів індивідів з подальшим інфікуванням;

γ – коефіцієнт інтенсивності одужання інфікованих індивідів.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta IS}{N} - \gamma I, \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I, \quad (3)$$

$$S(0) = S_0, I(0) = I_0, R(0) = R_0. \quad (4)$$

Чисельність популяції в моделі SIR вважається постійною:

$$\frac{dS}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt} = 0. \quad (5)$$

Таким чином:

$$S(t) + I(t) + R(t) = Constant = N, \quad (6)$$

де N – чисельність населення, яка вважається сталою.

В моделі SIR динаміка інфекційного захворювання залежить від наступного співвідношення:

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma} \quad (7)$$

де R_0 – коефіцієнт поширення інфекції.

Співвідношення (7) показує число нових випадків поширення інфекції, де всі особи є сприйнятливими до захворювання.

Слід зазначити, що в моделі SIR не враховуються демографічні процеси, такі як народжуваність, смертність та міграція індивідів. Це спрощення є коректним в силу того, що епідемія передбачається швидкоплинною в порівнянні з часом життя індивідів [8].

Нині створено велику кількість математичних моделей, які дозволяють моделювати селеві, зсувні, обвальні процеси, гірські паводки з різним ступенем достовірності.

В роботах [12-14] було виділено три основних типи моделей селевих і схлизових процесів – безперервні моделі, клітинні автомати і дискретні моделі.

Безперервні моделі представляють рух потоку речовини як загального середовища та застосовуються переважно для моделювання селевих і схлизових процесів. В основі безперервних моделей лежить рівняння безперервності, а також рівняння руху в'язкої рідини Нав'є-Стокса в явному вигляді або в інтегрованій по глибині гідравлічній формі – рівняння руху Сен-Венана.

Клітинні автомати представляють рух потоку речовини як закономірну зміну станів просторових осередків в напрямку руху потоку. Клітинні автомати застосовуються переважно для моделювання селів і зсувів. В основі клітинних автоматів лежить правило, що визначає перехід осередку з одного стану в інший. Одночасно для кожної конкретної комірки простору визначається її стан на кожному наступному часовому кроці з урахуванням стану даного осередку і сусідніх з нею осередків на попередньому часовому кроці.

Дискретні моделі представляють рух потоку речовини у вигляді руху сукупності окремих структурних частинок і застосовуються переважно для моделювання обвалів і зсувів. В основі дискретних моделей лежить рівняння руху структурних частинок – матеріальних точок або твердих тіл, що отримується безпосередньо з другого закону Ньютона. Одночасно для кожної обраної структурної частки речовини визначаються її динамічні параметри (поточні координати, вектор швидкості) на кожному наступному часовому кроці з урахуванням параметрів даної частинки і тих частинок, що контактують з нею на попередньому часовому кроці.

Математичне моделювання розвитку пожеж в природних екологічних системах є однією з найскладніших областей моделювання в силу різноманіття і складності фізичних процесів, що протікають в зоні пожежі [15]. Однак цій тематиці присвячено значну кількість робіт.

Так, в роботі [16] автором запропоновано модель, яка виходить з припущення, що швидкість поширення полум'я пропорційна відношенню енергії, що виділяється при згорянні, до енергії, що потрібна для нагрівання нових порцій пального до температури

займання. Модель Ротермела не використовує будь-яких нових теоретичних положень про процес горіння, вона базується на узагальненні великого експериментального матеріалу і пройшла ряд перевірок в польових умовах. У моделі в якості вхідних використовуються тільки ті характеристики пального, які можуть бути виміряні заздалегідь.

Модель Ротермела викликала появу багатьох робіт по її розвитку, доповненню, алгоритмізації і була

включена в Національну систему визначення пожежної небезпеки США. Незважаючи на окремі критичні зауваження, її слід визнати однією з найбільш вдалих зарубіжних експериментально-аналітичних моделей, призначених для розрахунку швидкості поширення вогню по лісовим горючим матеріалів при низових пожежах.

Концептуальну схему моделі Ротермела для швидкості поширення вогню подано на рис. 2.

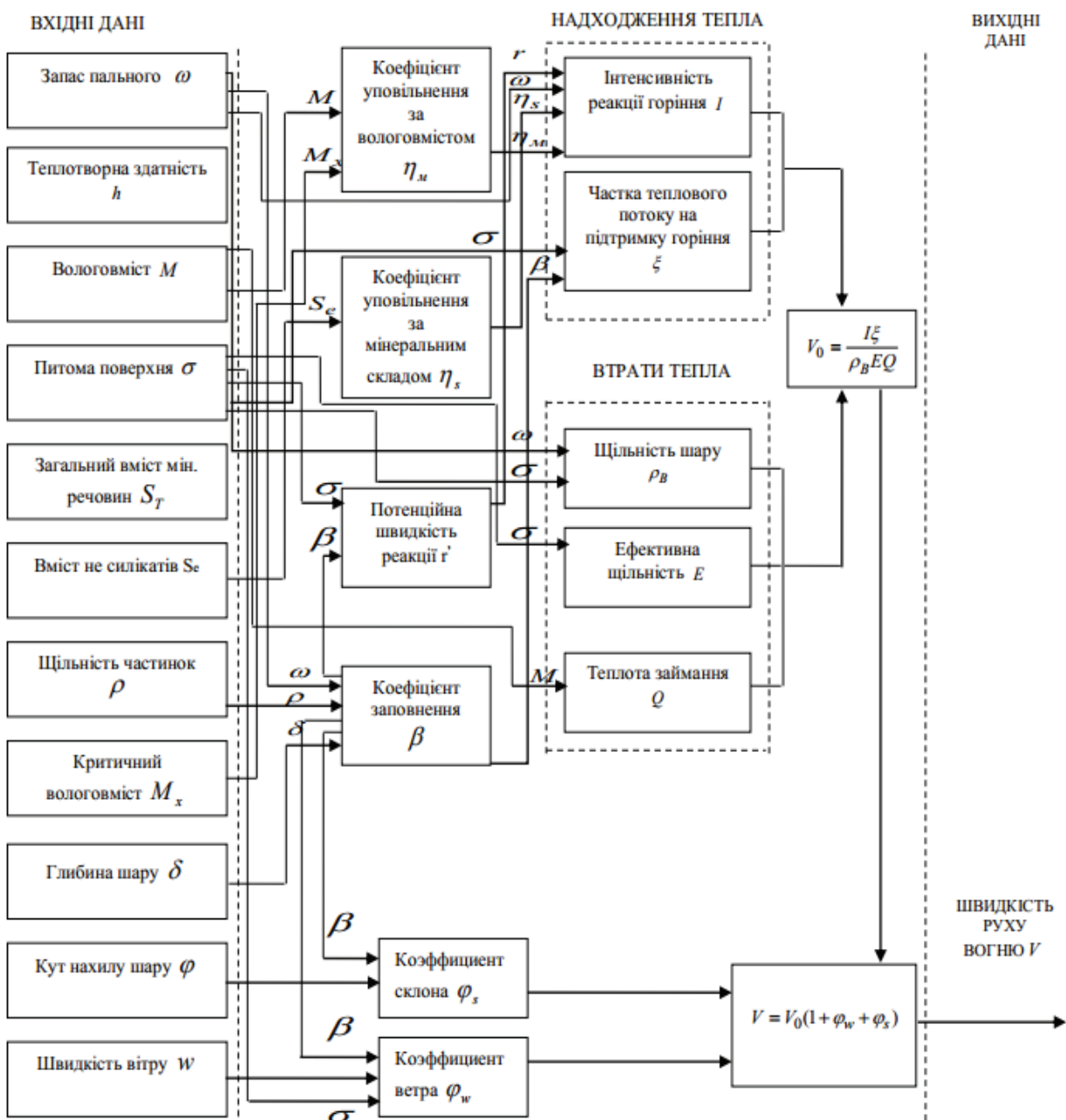


Рис. 2 – Концептуальна схема моделі Ротермела для швидкості поширення вогню

В роботі [15] авторами запропоновано модифіковану двовимірну модель лісових пожеж. Модель побудовано шляхом осереднення вихідних тривимірних рівнянь двофазного середовища по висоті шару лісових горючих матеріалів. Для опису турбулентності в роботі використовується k -модель з введенням додаткових членів генерації і дисипації турбулентної кінетичної енергії в лісовому масиві. Швидкість турбулентного горіння в газовій фазі описується моделлю дроблення вихорів, згідно з якою швидкість горіння при високій температурі не залежить від кінетики реакцій, а визначається виключно швидкістю турбулентного змішування компонент. Наведені результати демонстраційних розрахунків показують, що запропонована модель дає якісно правильну картину поширення фронту пожежі в умовах неоднорідного розподілу запасів лісових горючих матеріалів, наявності перешкод для поширення вогню і впливу вітру.

Модель може бути використана для прогнозування поширення фронту пожежі в реальному часі, для отримання експертних оцінок розвитку надзвичайних ситуацій, пов'язаних з лісовими пожежами, і оцінки збитку від пожеж.

В роботі [17] авторами розглянуто можливість використання паралельних обчислювальних систем і космічних знімків для моделювання динаміки лісових пожеж. Запропоновано спосіб оцінки характеристик динаміки пожежі за космічними знімками. Проаналізовано різні способи декомпозиції ґратчастої області при чисельному моделюванні динаміки розповсюдження лісової пожежі.

У результаті дослідження авторами були створені такі програми: програма, що вирішує зворотну задачу –

отримання значень швидкостей на основі аерокосмічних знімків контурів пожежі в послідовні моменти часу; програма для препроцесорної обробки даних – «розрізання» даних на окремі файли для багатопроцесорних обчислень; програма для чисельного моделювання поширення кромки лісової пожежі.

В роботі [18] представлені результати експериментально-аналітичного дослідження процесів виникнення і розповсюдження лісової низової пожежі. Виявлено значення температури факела полум'я при горінні покриву соснового лісу, визначено рівень прогріву лісового горючого матеріалу при впливі теплового випромінювання. Здійснено розрахунок щільності променистого теплового потоку від фронту полум'я циліндричної форми з подальшим прогнозом реалізованих в умовах лісової пожежі рівнів теплового впливу.

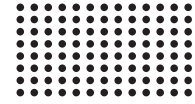
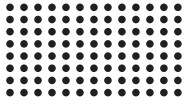
Висновки. Розглянуто класичну модель поширення медико-біологічних катастроф -SIR. Встановлено, що математично така модель задається системою диференціальних (безперервний час) або різницевих (дискретний час) рівнянь. В роботі розглянуто також моделі, що є похідними від SIR. Подано інформацію про найбільш розповсюджені з них.

Проведено дослідження математичних моделей, які дозволяють моделювати селєві, зсувні, обвальні процеси, гірські паводки з різним ступенем достовірності. Наведено опис основних типів моделей селєвих і схилових процесів.

Проведено аналіз робіт, присвячених методикам прогнозу виникнення і поширення природних пожеж та його особливостям.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Liashenko, O., Kyryichuk, D., & Lozhkin, R. (2019). Development of a decision support system for mitigation and elimination the consequences of natural disasters in Ukraine. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 19, pp. 825–832). International Multidisciplinary Scientific Geoconference. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/2.1/s08.107>
2. Гришин А.М. Моделирование и прогноз некоторых природных и техногенных катастроф. Труды Международной конференции RDAMM–2001. 2001. Т. 6, Ч. 2, Спец.выпуск. С. 134–139.
3. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Солдатов В.Ю. Природные катастрофы и окружающая среда. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2012. № 1. С. 3–150.
4. Фильков А.И. Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. 276 с.
5. Буц Ю.В. Математическое моделирование восстанавливаемости природных комплексов после воздействия пирогенного фактора. Географические науки. 2013. № 8(15). Ч. 2. С. 116–118.
6. Albini, F.A., Brown, J.K. Mathematical modeling and predicting wildland fire effects. Combust Explos Shock Waves 32, 1996. P. 520–533. <https://doi.org/10.1007/BF01998574>
7. Шабунин А.В. SIR-модель распространения инфекций с динамическим регулированием численности популяции: Исследование методом вероятностных клеточных автоматов. Известия вузов. ПНД. 2019. том 27. выпуск 2. С. 5–20. DOI: <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2019-27-2-5-20>



8. Леоненко В.Н. Математическая эпидемиология. Учебно-методическое пособие. СПб. : Университет ИТМО. 2018. 38 с.
9. Kermack W., McKendrick A. Contributions to the mathematical theory of epidemics – I. *Bulletin of Mathematical Biology*. 1991. 53 (1–2). P. 33–55. doi:10.1007/BF02464423.
10. Kermack W., McKendrick A. Contributions to the mathematical theory of epidemics – II. The problem of endemicity. *Bulletin of Mathematical Biology*. 1991. 53 (1–2): P. 57–87. doi:10.1007/BF02464424.
11. Kermack W., McKendrick A. Contributions to the mathematical theory of epidemics – III. Further studies of the problem of endemicity. *Bulletin of Mathematical Biology*. 1991. 53 (1–2). P. 89–118. doi:10.1007/BF02464425.
12. Михайлов В.О., Черноморец С.С. Математическое моделирование селей, обвалов и оползней. 2011. 131 с.
13. Трофимов А.М., Московкин В.М. Математическое моделирование в геоморфологии склонов. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1983. 218 с.
14. Михайлов В.О. Математическое моделирование селей и ледниковых катастроф. Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2010». / Отв. ред. Алешковский И.А., Костылев П.Н., Андреев А.И., Андриянов А.В. М. : МАКС Пресс, 2010.
15. Кулешов А.А., Мышецкая Е.Е., Якуш С.Е. Моделирование распространения лесных пожаров на основе модифицированной двумерной модели. *Матем. Моделирование*. 2016. Том 28. № 12. С. 20–32.
16. Rothermel R.C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Ogden: USDA, Forest Service Research Paper. Int115. InterMountain forest and range experiment Station, 1972. 40 p.
17. Вдовенко М.С., Доррер Г.А. Моделирование лесных пожаров с использованием кластерных вычислительных систем. *Хвойные бореальной зоны*. XXVI. № 2. 2009. С. 239–243.
18. Ласута Г.Ф., Гоман П.Н. Моделирование процессов возникновения и распространения лесного низового пожара с оценкой уровня тепловой нагрузки от фронта пламени. *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. Т. 3. № 2. 2019. С. 138–154.

RESEARCH OF MATHEMATICAL MODELS FOR THE DEVELOPMENT OF NATURAL DISASTERS

Viktorii Palona,

PhD Student of the Department of Software and Technologies,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: palenaya.v.wezom@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7857-2680

Dmytro Kiriychuk,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software and Technologies,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
e-mail: kidiam2@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4905-6932

Abstract. Almost the entire spectrum of natural hazards and processes of geological, hydrogeological, meteorological, as well as biomedical origin, which are sources of natural disasters may arise in the territory of Ukraine – large-scale endogenous and exogenous processes leading to human casualties, large ecological and damage.

Under these conditions, the actual scientific and applied task is to investigate existing and develop new mathematical models of the development of natural disasters.

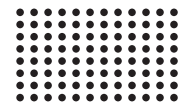
The paper investigated mathematical models of the development of natural disasters of geological, medico-biological origin and mathematical models of fire development in natural ecological systems.

The SIR model has been identified as a classic model for the spread of biomedical disasters. The model considers three groups of individuals: susceptible (Susceptible), infected (Infected), and already sick (Recovered). Mathematically, such a model is given by a system of differential (continuous time) or difference (discrete time) equations. These equations describe the law of the number of groups of individuals changing over time. The paper also considered models that are derived from SIR. Information is provided on the most common of these.

The study of mathematical models allowing to model mud, landslide and mountain floods with varying degrees of confidence has been carried out. The main types of sediment and slope models are described.

The analysis of works on methods of forecasting of occurrence and spread of natural fires and their peculiarities is made.

Keywords: *mathematical modelling, biomedical disaster, fires in natural ecological systems.*



ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ

Паленая Виктория Юрьевна,

аспирант кафедры программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: palenaya.v.wezom@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7857-2680

Кирийчук Дмитрий Леонидович,

кандидат технических наук, доцент кафедры программных средств и технологий,
Херсонский национальный технический университет, Херсон, Украина,
e-mail: kidiam2@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4905-6932

Аннотация. На территории Украины возможно возникновение практически всего спектра опасных природных явлений и процессов геологического, гидрогеологического, метеорологического, а также медико-биологического происхождения, которые являются источниками природных катастроф – масштабных эндогенных и экзогенных процессов, приводящих к человеческим жертвам, большого экологического и экономического ущерба.

Поэтому актуальной научно-прикладной задачей является исследование существующих и разработка новых математических моделей развития природных катастроф.

В работе проведено исследование математических моделей развития природных катастроф геологического, медико-биологического происхождения и математических моделей развития пожаров в природных экологических системах.

Установлено, что классической моделью распространения медико-биологических катастроф является модель SIR. В модели рассматривается три группы индивидов: восприимчивые к заболеванию (Susceptible), инфицированные (Infected) и те, что уже переболели (Recovered). Математически такая модель задается системой дифференциальных (непрерывное время) или разностных (дискретное время) уравнений. Эти уравнения описывают закон изменения численности групп индивидов в течение определенного времени. В работе рассмотрены также модели, которые являются производными от SIR. Представлена информация о наиболее распространенных из них.

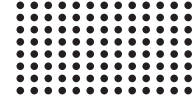
Проведено исследование математических моделей, позволяющих моделировать селевые, оползневые процессы, горные паводки с разной степенью достоверности. Приведено описание основных типов моделей селевых и склоновых процессов.

Проведен анализ работ, посвященных методикам прогноза возникновения и распространения природных пожаров и их особенностям.

Ключевые слова: математическое моделирование, медико-биологическая катастрофа, пожары в природных экологических системах.

REFERENCES:

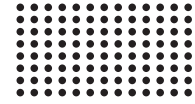
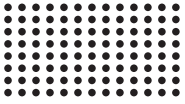
1. Liashenko, O., Kyrychuk, D., Krugla, N., & Lozhkin, R. (2019). Development of a decision support system for mitigation and elimination the consequences of natural disasters in Ukraine. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 19, pp. 825–832). International Multidisciplinary Scientific Geoconference. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/2.1/s08.107>
2. Hryshyn A. M. (2001). Modeling and forecasting some natural and man-general disasters RDAMM–2001. Vol.6, P2, Special edition. 134–139.
3. Bondur V.H., Krapuyun V.F., Potapov Y.Y., Soldatov V.Iu. (2012). Natural disasters and the environment. Environmental and natural resource issues. №1. 3–150.
4. Fylkov A.Y. (2014). Physical and mathematical modeling of the occurrence of natural fires. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 276.
5. Buts Yu.V. (2013). Mathematical modeling of the recoverability of natural complexes after exposure to the pyrogenic factor. Geographical sciences. №8(15). Vol. 2. 116–118.
6. Albin, F.A., Brown, J.K. (1996). Mathematical modeling and predicting wildland fire effects. Combust Explos Shock Waves 32, 520–533. <<https://doi.org/10.1007/BF01998574>>



7. Shabunyn A.V. (2019). SIRS-model of the spread of infections with dynamic regulation of the population size: Investigation by the method of probabilistic cellular automata. Proceedings of universities. PND. Vol 27. Issue 2. 5–20. DOI: <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2019-27-2-5-20>
8. Leonenko V.N. (2018). Mathematical epidemiology. Study guide. SPb: ITMO University. 38.
9. Kermack W., McKendrick A. (1991). Contributions to the mathematical theory of epidemics – I. Bulletin of Mathematical Biology. 53 (1–2). 33–55. doi:10.1007/BF02464423.
10. Kermack W., McKendrick A. (1991). Contributions to the mathematical theory of epidemics – II. The problem of endemicity. Bulletin of Mathematical Biology. 53 (1–2): 57–87. doi: 10.1007/BF02464424.
11. Kermack W., McKendrick A. (1991). Contributions to the mathematical theory of epidemics – III. Further studies of the problem of endemicity. Bulletin of Mathematical Biology. 53 (1–2). 89–118. doi:10.1007/BF02464425.
12. Mykhailov V.O., Chernomorets S.S. (2011). Mathematical modeling of mudflows, avalanches and landslides. 131.
13. Trofymov A.M., Moskovkyn V.M. (1983). Mathematical modeling in slope geomorphology. Kazan: Kazan Publishing House University, 218.
14. Mykhailov V.O. (2010). Mathematical modeling of mudflows and glacial disasters. Materials of the International Youth Scientific Forum "LOMONOSOV-2010». M. : MAKSPublishing.
15. Kuleshov A.A., Myshetskaia E.E., Yakush S.E. (2016). Simulation of the spread of forest fires based on a modified two-dimensional model. Mat. Modeling. Vol/28. № 12. 20–32.
16. Rothermel R.C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Ogden: USDA, Forest Service Research Paper. Int115. InterMountain forest and range experiment Station, 40.
17. Vdovenko M.S., Dorrer H.A. (2009). Simulation of forest fires using cluster computing systems. Conifers of the boreal zone. XXVI. № 2. 239–243.
18. Lasuta H.F., Homan P.N. (2019). Modeling the processes of occurrence and propagation of a forest ground fire with an assessment of the level of heat load from the flame front. Bulletin of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of Belarus. Vol. 3. № 2. 138–154.



Drozdovych I.	36	Кірюшатова Т.	54
Gubskiy A.	36	Левківський Р.	7
Pasko V.	36	Огнева О.	69
Stenin A.	36	Пальона В.	108
Гусев В.	7	Повод Я.	98
Давиденко Є.	23	Полібіна К.	78
Дворецька С.	23	Сокол І.	7
Дворецький М.	23	Сокол К.	69
Захарченко Л.	44	Фісун М.	23
Захарченко Л.	54	Чорний Д.	89
Захарченко Р.	44	Шерстюк В.	7
Захарченко Р.	54	Шерстюк В.	89
Кибалко І.	54	Шерстюк В.	98
Киричук Д.	108	Штуца О.	44
Кірюшатова Т.	44		



ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ в журналі «Проблеми інформаційних технологій»

Журнал «Проблеми інформаційних технологій» є періодичним науковим журналом, який включено до переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Наказ Міністерства освіти і науки України № 820 від 11.07.2016 р.).

Журнал публікує статті з новими науковими результатами в області теоретичних і прикладних проблем сучасних інформаційних технологій, системного аналізу і моделювання за такими групами спеціальностей:

- 121 Інженерія програмного забезпечення.
- 122 Комп'ютерні науки.
- 123 Комп'ютерна інженерія.
- 124 Системний аналіз.
- 125 Кібербезпека.
- 126 Інформаційні системи і технології.

Мінімальний обсяг статті – 8 сторінок. Максимальний – 20 сторінок. Література та анотації також входять до загальної кількості сторінок публікації.

Журнал видається українською, англійською та російською мовами.

Публікація статей здійснюється на платній основі. Розмір внеску за публікацію статті становить 45 грн за кожен (повну чи неповну) сторінку поданих матеріалів.

Журнал включено до науково-метричних баз даних, цифрових архівів та бібліотек з безкоштовним on-line-доступом: Index Copernicus, CrossRef, Google Scholar, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Research Bible, Open Academic Journals Index (OAJI), AcademicKeys, National Library of Ukraine (Vernadsky).

ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ Й ОФОРМЛЕННЯ НАУКОВИХ СТАТЕЙ

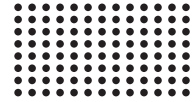
Наукова стаття в журналі «Проблеми інформаційних технологій» повинна відповідати вимогам п.3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року та враховувати вимоги міжнародних наукометричних баз даних (Scopus / Elsevier database, Clarivate Analytics / former Thomson Reuters, Web of Knowledge, CrossRef / Digital Object Identified та ін.) до наукових статей.

Редакційна колегія рекомендує авторам дотримуватися такої структури наукової статті:

1. **Постановка проблеми.** Необхідно розкрити сутність і стан наукової проблеми у загальному вигляді, її теоретичну та (або) практичну значущість, обґрунтувати актуальність дослідження.
2. **Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Необхідно проаналізувати основні положення останніх досліджень і публікацій, що безпосередньо стосуються порушеної проблеми, виокремити невирішені раніше частини загальної проблеми, яким присвячено статтю.
3. **Мета дослідження.** Необхідно висловити основну ідею публікації. Мета дослідження має впливати з постановки проблеми й аналізу останніх досліджень і публікацій, у ній повинно бути чітко визначено кінцевий науковий результат.
4. **Виклад матеріалу дослідження.** Необхідно висвітлити основні положення і результати наукового дослідження.
5. **Висновки.** Необхідно висвітлити найбільш важливі результати дослідження, які містять наукову новизну і мають теоретичне та (або) практичне значення.
6. **Список літератури.** Список літератури повинен бути оформлений у двох варіантах:
 - 1) відповідно до міжнародного бібліографічного стандарту APA: <https://www.apastyle.org>;
 - 2) відповідно до ДСТУ 8302.2015 «Інформація та документація. Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання».

У списку літератури обов'язково повинні бути присутні джерела з досліджуваної проблеми не більше ніж 3–4-річної давності. Не слід обмежуватися цитуванням робіт, які належать тільки одному колективу авторів або дослідницькій групі.

Необхідними є посилання на сучасні міжнародні публікації. Статті, які не містять посилань на роботи, опубліковані протягом останнього десятиліття, автоматично вважаються такими, що не відповідають редакційним вимогам.



СТРУКТУРНІ ЕЛЕМЕНТИ НАУКОВОЇ СТАТТІ

Індекс УДК у верхньому лівому куті сторінки (Times New Roman, 12 пт).

Інформація про авторів (співавторів) статті (ім'я та прізвище мовою статті, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи, населений пункт, країна, адреса електронної пошти, ORCID ID) (Times New Roman, 12 пт, вирівнювання – по лівому краю).

Назва статті. Назву статті потрібно подавати напівжирним шрифтом великими літерами з вирівнюванням по центру, без скорочень, зокрема літерних абrevіатур. Назва статті повинна відображати зміст дослідження та відповідати його меті, науковим результатам і висновкам. (Times New Roman, 14 пт, напівжирний шрифт).

Анотація мовою статті. Обсяг анотації має становити 2–3 тис. знаків разом із ключовими словами (4–8 слів). (Times New Roman, 12 пт). Анотація має містити такі структурні елементи:

- 1) мета статті;
- 2) методи дослідження;
- 3) основні результати дослідження;
- 4) наукова новизна;
- 5) практична значимість.

Перелік ключових слів, який починається зі слів: «Ключові слова:» (Times New Roman, 12 пт, курсив).

Постановка проблеми

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Мета дослідження

Виклад матеріалу дослідження

Висновки

Список літератури

У тексті статті можна подавати ілюстрації. Підпис під ілюстрацією має складатися з чотирьох основних елементів: найменування, що позначається скороченим словом «Рис.»; порядкового номера ілюстрації, який вказується без знаку номера арабськими цифрами; тематичного заголовка ілюстрації, що містить текст зі стислою характеристикою зображення.

Ілюстрації потрібно оформлювати окремими файлами у форматах jpg, tiff, png належної якості. Роздільна здатність має бути не менш як 300 dpi, а розмір зображення – не менш як 1060 x 1410 pixel.

Таблиці необхідно виконувати у текстовому редакторі MS Word 2016.

Кожна таблиця повинна мати порядковий номер і тематичний заголовок, які необхідно розмістити над нею симетрично до тексту.

Формули потрібно подавати за допомогою редактора формул MS Equation 3.0, Math Type.

Також мають бути анотації українською та російською мовами, які за змістом цілком відповідають анотації англійською мовою. Кожна анотація також повинна містити інформацію про авторів, відповідною мовою.

Редакційна колегія не обов'язково поділяє позицію, висловлену авторами у статтях, та не несе відповідальності за достовірність наведених даних, цитат, фактів та посилань.

Редакційна колегія залишає за собою право відхиляти матеріали, що не відповідають редакційним вимогам, мають низький науковий рівень та не пройшли процедуру рецензування.

ВИМОГИ ДО ПОДАННЯ НАУКОВОЇ СТАТТІ

Для опублікування наукової статті на адресу електронної пошти журналу (magazinepit@ukr.net) необхідно надіслати її електронну версію разом із ілюстраціями, оформленими окремими файлами у відповідних форматах.

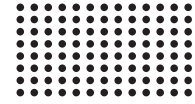
Звертаємо увагу!

Автору (співавторам) не потрібно надсилати рецензію, оскільки кожна подана для опублікування наукова стаття проходить анонімне рецензування та перевірку на наявність плагіату.

Вимоги до оформлення файлу:

Текст наукової статті повинен бути надрукований у текстовому редакторі MS Word 2016 (у форматі docx); формат паперу: А4 (210 x 297 мм); орієнтація сторінок: книжкова із вирівнюванням по ширині з відступом від лівого краю – 1,25 мм; поля: верхнє, нижнє, праве – 2 см, лівє – 2,5 см; шрифт: Times New Roman (розмір шрифту – 12 pt); міжрядковий інтервал – 1.

У тексті не повинно бути переносів і макросів. У тексті статті виділяються лише назви розділів статті, відповідно до її структури. Інших виділень не має бути.



Формули потрібно подавати за допомогою редактора формул MS Equation 3.0, Math Type. Всі формули вставляються в таблицю з не окресленим контуром, що складається з двох колонок: у першій знаходиться формула без абзацу та вирівняна по центру, в другій - номер формули (якщо такий є) теж без абзацу та з вирівнюванням по правому краю. Кордон між колонками таблиці встановлюється на позначці 14 см. У тексті формули повинні бути виділені зверху і знизу порожнім рядком. Нижче наведено приклад вставки формули:

$\lim_{\tau \rightarrow 0} \int_0^{\tau} P d\tau = n \neq 0 .$	(1)
--	-----

Параметри в редакторі формул повинні бути такими:

Розміри (опція меню редактора Equation Editor: **РОЗМІР, Визначити ...**):

- Звичайний 10 пт
- Великий індекс 7 пт
- Дрібний індекс 5 пт
- Великий символ 16 пт
- Дрібний символ 10 пт

Стилі (опція меню **СТИЛЬ, Визначити ...**)

- Текст Times New Roman
- Функція Times New Roman
- Змінна Times New Roman
- Ряд. грецькі Symbol
- Пр. грецькі Symbol
- Символ Symbol
- Матриця-вектор Times New Roman напівжирний
- Числа Times New Roman

1. Таблиці створюються тільки за допомогою Microsoft Word. Передбачається обмеження на кількість (≤ 5).
2. Сумарний обсяг рисунків і таблиць повинен бути менше 50 % обсягу основного розділу.

Прохання до авторів суворо дотримуватися вимог редколегії. В іншому випадку Вашу статтю буде відхилено.

У разі необхідності уточнення інформації щодо оформлення статей – зв'язок з відповідальним секретарем журналу

e-mail: magazinepit@ukr.net

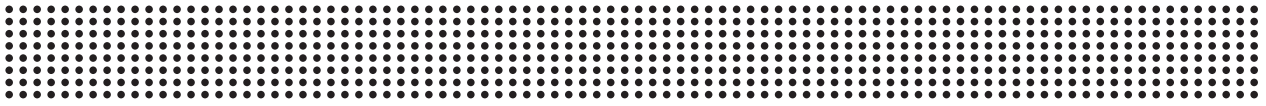
Рукописи авторам не повертаються.

Рукописи для розгляду Редколегією збірника приймаються на кафедрі Програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету за адресою:

73008, Україна, м. Херсон, Бериславське шосе, 24, ХНТУ, корп. 3, ауд. 316.



НОТАТКИ



„ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ” № 27 /2020/

Свідоцтво про реєстрацію KB № 11321-20 IP

.....

ВИДАВЕЦЬ:

Херсонський національний технічний університет

.....

Адреса редакції: 73008 м. Херсон,
вул. Бериславське шосе, 24, корп. 3, а. 316

Телефони: 8(0552) 51-57-31, 32-69-66

e-mail: Magazinepit@ukr.net

Підписано до друку 15.01.2020.

Формат видання 60x84/8. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. _____. Тираж 300 прим. Замовлення № _____.

.....

Друк: ОЛДІ-ПЛЮС

вул. Паровозна, 46а, м. Херсон, 73034

Свідоцтво ДК № 6532 від 13.12.2018 р.

Тел.: +38 (0552) 399-580, +38 (098) 559-45-45,

+38 (095) 559-45-45, +38 (093) 559-45-45

Для листування: а/с 20, м. Херсон, Україна, 73021

E-mail: office@oldiplus.ua