

Вінницький національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БІЛЕЦЬКИЙ БОГДАН СЕРГІЙОВИЧ

УДК 004.9+578.834.1

ДИСЕРТАЦІЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ
ПАРАМЕТРІВ ТЕКСТОВИХ ТА ГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ
У БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМАХ

Спеціальність 126 – «Інформаційні системи та технології»

Галузь знань 12 – «Інформаційні технології»

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Б. С. Білецький

Науковий керівник: Мокін Віталій Борисович,
доктор технічних наук, професор

Вінниця – 2025

АНОТАЦІЯ

Білецький Б.С. Інтелектуальна інформаційна технологія оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології». – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2025.

Метою дисертаційної роботи є підвищення якості та швидкості проектування текстових та графічних об'єктів у багаторівневих багатозв'язних системах з невизначеністю, з урахуванням шаблонів і вимог, шляхом створення інтелектуальної інформаційної технології оптимізації параметрів цих об'єктів.

Дисертація присвячена розв'язанню актуальної науково-технічної задачі, що полягає у підвищенні точності якості та швидкості проектування за рахунок розроблення інтелектуальної інформаційної технології оптимізації параметрів текстових та графічних елементів багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю, яка усувається шляхом максимізації певного критерію якості системи.

Основні наукові та практичні результати полягають в наступному:

1. Оглянуто загальний клас задач оптимізації багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю на прикладі трьох предметних областей. Якість функціонування таких систем оцінюється різними, але формально описуваними критеріями: коефіцієнтом залученості, показником темпоральної впорядкованості та повноти топологічної спостережуваності. Виявлено актуальність пошуку універсального розв'язку задачі оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів з урахуванням заданих обмежень з метою максимізації якості цих об'єктів, прикладами якої є залученість глядачів, темпоральне впорядкування текстових елементів, а також збільшення повноти топологічної спостережуваності за рахунок зміни структури математичної моделі інформаційної системи.

2. Сформульовано узагальнену постановку задачі оптимізації та обґрунтовано методологію її розв'язання в межах системного аналізу. Охарактеризовано розроблений автором математичний апарат, який дає змогу формалізувати невизначеності та багаторівневі взаємозв'язки, забезпечуючи ефективне розв'язання задач оптимізації. Практичну реалізацію методології продемонстровано на прикладах автоматизованого генерування макетів графічних об'єктів, побудови структурно-логічних схем освітніх програм і розробки аналітичних вебсистем.

3. Запропоновано комплексний чотириетапний підхід до аналізу та темпорального впорядкування змісту освітніх програм. Розроблено методику виявлення та групування ключових понять на основі аналізу освітніх компонентів, а також створено алгоритм визначення темпоральних відносин дисциплін на основі аналізу процесів життєвого циклу. Такий підхід забезпечує системність та повноту аналізу освітніх програм.

4. Розроблено новий метод оптимізації інформаційних моделей масштабованих у просторі аналітичних вебсистем за критерієм повноти їхньої топологічної спостережуваності, який дозволяє здійснити аналіз повноти топологічної спостережуваності як на кожному рівні масштабування у просторі, на яких планується виконувати аналітичні операції у проєктованій вебсистемі, так і для всієї системи загалом. За результатами такого аналізу з'являється можливість введення програмних обмежень у функціональності вебсистеми, щоб уникнути появи запитів чи залежностей, не забезпечених даними, через неповноту топологічної спостережуваності окремих (чи усіх) рівнів системи. Кожен критерій нормалізований, що уможливорює їхню композицію у комплексну цільову функцію. Розроблено спеціалізовані методи оптимізації для трьох предметних областей узгоджені з базовою моделлю: алгоритм рекомендаційного макетування на основі моделі машинного навчання та прогнозу показника залученості; нейромережевий підхід для оцінювання темпоральної спрямованості, який надає можливість впорядковувати пару освітніх компонентів з відносним

впорядкуванням; метод максимізації топологічної спостережуваності з алгоритмом додавання внутрішньорівневих та міжрівневих залежностей.

5. Створено інтелектуальну інформаційну технологію оптимізації параметрів багаторівневих систем та доведено її універсальність, ефективність та відповідність сучасним вимогам до швидкості, якості. Розроблено модуль, що реалізує метод макетування графічних та текстових елементів на графічних об'єктах (афіш, постерів тощо) як багаторівневих системах, який на основі передтренованої інтелектуальної моделі та частини заданих параметрів, визначає оптимальні значення інших параметрів, що одночасно підвищує якість цих об'єктів та скорочує час на їх проектування. Результати тестування системи показали збільшення прогнозованої якості макетованого об'єкта на відміну від використання аналогічних рішень.

6. Розроблено нейромережевий підхід до визначення темпоральної спрямованості в текстах, що не містять явних часових маркерів, а також додаткові модулі вилучення визначень слів з контексту та класифікації темпоральних фраз. Введено новий термін "темпоральна спрямованість", який відображає ймовірнісний підхід до оцінювання порядку появи слів на основі статистичних закономірностей у текстових даних. Запропонований підхід використовує глибокі нейронні мережі для моделювання ймовірності того, що одне слово з'являється раніше за інше, шляхом попарного порівняння слів у новинах.

7. Запропоновано практичне застосування підходу було продемонстровано на датасеті з 127 000 датованих текстів, зібраних із соцмереж. Результати показали високу точність у хронологічному впорядкуванні документів. Було протестовано декілька інтелектуальних моделей для класифікації темпоральної спрямованості на рівні документів. Найкращий результат 89,76% за метрикою «Ассурасу» на валідаційному датасеті показала модель «Gradient Boosting Classifier». Розроблена технологія може бути застосована для автоматичного відтворення впорядкування текстів, що не містять явних часових маркерів. Це може бути корисно для автоматизації аналізу великих масивів текстів та встановлення зв'язків між подіями у різних контекстах. Під час дослідження було створено та опубліковано

датасет та навчена рекурентна нейромережа для класифікації темпоральних фраз з природномовних текстів. Здобуті результати мають великий потенціал для розвитку та покращення. Збільшення точності вилучення темпоральних фраз та їх переведення в точний час є предметами подальших досліджень.

8. Продемонстровано роботу методу на прикладі розробки автоматизованої вебсистеми розрахунку і прогнозування водогосподарського балансу басейну Дністра. Застосування розробленого підходу на етапі проектування цієї системи забезпечило уникнення появи запитів чи залежностей, не забезпечених даними. Систему розроблено та успішно впроваджено. Наведено приклад у галузі управління водними ресурсами, який продемонстрував працездатність запропонованих рішень. Використовуючи запропонований метод в межах проєкту ГЕФ/ПРООН/ОБСЄ «Сприяння транскордонному співробітництву та комплексного управління водними ресурсами в басейні річки Дністер», розроблено та впроваджено автоматизовану вебсистему розрахунку і прогнозування водогосподарського балансу басейну Дністра.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступних положеннях:

1. Вперше для багаторівневих багатозв'язних інформаційних систем, здатних до оброблення даних на різних рівнях просторової деталізації, запропоновано метод максимізації топологічної спостережуваності моделей, який дозволяє прискорити проектування повністю топологічно спостережуваних систем для розв'язання задач моделювання сценаріїв та підтримки прийняття рішень з використанням цих систем. Метод може бути застосований і до багаторівневої інформаційної системи, дані якої не прив'язані в часі.

2. Удосконалено метод інтелектуальної оптимізації темпоральної упорядкованості текстових об'єктів, за рахунок нового критерію темпоральної спрямованості, який дозволяє сформулювати рекомендації для різного рівня ієрархії цих текстових об'єктів, що, в цілому, дозволить пришвидшити проектування та якість цих об'єктів. Наприклад, для освітніх програм метод дозволяє швидко оптимізувати темпоральну упорядкованість взаємопов'язаних обов'язкових освітніх компонентів на основі упорядкування їх змістових модулів і тем.

3. Дістав подальший розвиток метод макетування графічних і текстових елементів на графічних об'єктах (афіш, постерів тощо) як багаторівневих системах, який на основі передтренованої інтелектуальної моделі та частини заданих параметрів, визначає оптимальні значення інших параметрів, що одночасно підвищує якість цих об'єктів та скорочує час на їх проєктування.

4. Вперше розроблено інтелектуальну інформаційну технологію оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах різних предметних областей, таких як макетування афіш, впорядкування структурно-логічних схем освітніх програм та проєктування багаторівневих топологічно-спостережуваних інформаційних аналітичних систем, яка, за рахунок мультимодального підходу до формалізації параметрів ієрархічно структурованої інформації про ці об'єкти у багаторівневих системах, дозволяє підвищити їх якість та пришвидшити їх проєктування.

На реальних прикладах випробувано інтелектуальну інформаційну технологію оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах, яка забезпечує підвищення якості та швидкості проєктування цих систем. Випробування показало скорочення сумарної тривалості проєктування афіши (як багаторівневої системи) на 20.37 % щодо традиційних підходів та збільшення прогнозованої якості на 4.72–7.62 %.

Практична цінність одержаних результатів полягає в наступному:

1. Створено та апробовано програмні модулі для автоматизованого макетування афіш, які здатні прогнозувати та підвищувати популярність афіш. У ході дослідницької роботи зібрано набір даних з параметрів багатьох афіш, що містить інформацію про кольори, шрифти, композицію та відгуки користувачів. Сформовано прототип програмного середовища, який дає змогу дизайнеру отримувати рекомендації щодо розміщення текстових блоків. Цей прототип може бути доопрацьований у вигляді додаткового модуля для сучасних графічних редакторів. Зібрано та проаналізовано корпус змістових модулів із силабусів більше 50 дисциплін спеціальності «Інформаційні системи та технології» освітньо-професійної програми (ОПП) «Прикладні інформаційні технології» рівня

“бакалавр”, за якою здійснюється навчання здобувачів у ВНТУ. Розроблено рекомендації, які передано гаранту та групі забезпечення цієї ОПП для використання під час її оптимізації. Реалізовано алгоритм оптимізації даних у масштабованих аналітичних вебсистемах, що покращує топологічну спостережуваність і повноту покриття змінних на різних рівнях деталізації. Цей алгоритм застосовано на практиці у дослідженнях, пов’язаних з оптимізацією водогосподарського балансу у басейні Дністра. Завдяки додаванню міжрівневих залежностей вдалося підвищити комплексність та якість аналітичних розрахунків без надмірного дублювання даних.

2. Результати роботи впроваджено в роботі друкарні-видавництва ТОВ «ТВОРИ». Результати дисертаційної роботи рекомендовані до впровадження в практичну діяльність друкарні-видавництва «ТВОРИ» при макетуванні графічних виробів: постерів, афіш, реклами тощо. Удосконалений метод макетування графічних і текстових елементів на графічних об’єктах з використанням передтренованої інтелектуальної моделі, що визначає оптимальні значення інших параметрів та використання методу впорядкування структурно-логічних схем дозволяє прискорити їх проєктування та макетування. Впровадження у виробничий процес підтверджується Актом впровадження (від 10 січня 2025 року) (Додаток А).

Отримані результати є корисними для:

- навчального процесу Вінницького національного технічного університету під час викладання дисципліни «Інформаційні технології моніторингу та аналізу даних» для студентів, які навчаються за освітньою програмою «Інформаційні системи та технології» рівня «доктор філософії» цієї ж спеціальності 126 для навчання знанням та навичкам у сфері інтелектуальних інформаційних технологій (акт впровадження від 21 квітня 2025 р.). Крім того, у межах навчального процесу викладачеві дисципліни «Інтелектуальні технології оброблення зображень» асистентові кафедри було передано розроблене здобувачем методичне, алгоритмічне та програмне

забезпечення для синтезу афіш за частковими вхідними даними. Гарантові освітньо-професійної програми «Прикладні інформаційні технології» (рівень «бакалавр») спеціальності 126 доцентів кафедри САІТ, к.т.н., доц. Крижановському Є. М. передано рекомендації щодо темпорального упорядкування окремих освітніх компонентів у структурно-логічній схемі цієї програми.

- друкарень-видавництв при макетуванні графічних виробів. Розроблена технологія і методи дозволяють прискорити макетування графічних об'єктів та проєктування структурно-логічних схем, що підтверджується Актом впровадження (від 10 січня 2025 року) (Додаток А).

Також необхідно зазначити, що розроблену інформаційну технологію оптимізації параметрів текстових та графічних елементів багаторівневих систем можна, за певного адаптування, застосовувати і для інших предметних областей.

Ключові слова: штучний інтелект, машинне навчання, інформаційна технологія, інтелектуальна технологія, оброблення природної мови, автоматичне розпізнавання, оптимізація, математичні моделі, аналітичні вебсистеми, нейронні мережі.

ABSTRACTS

Biletskyi B.S. Intelligent Information Technology for Optimizing the Parameters of Textual and Graphical Objects in Multilevel Systems – Qualification scientific work, manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in speciality 126 “Information Systems and Technologies”. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2025.

The purpose of the dissertation is to increase the quality and speed of designing textual and graphical objects in multilevel multi-linked systems with uncertainty, taking into account templates and requirements, by creating an intelligent information technology for optimizing the parameters of these objects.

The dissertation is devoted to solving a current scientific-technical task, namely to increase accuracy, quality, and design speed by developing an intelligent information technology for optimizing the parameters of textual and graphical elements of multilevel multi-linked systems with uncertainty, which is eliminated by maximizing a certain quality criterion of the system.

The main scientific and practical results are as follows:

1. A general class of optimization tasks for multilevel multi-linked systems with uncertainty is reviewed using three subject areas as examples. The quality of functioning of such systems is assessed by different but formally describable criteria: engagement coefficient, temporal ordering indicator, and completeness of topological observability. The relevance of searching for a universal solution to the task of optimizing the parameters of textual and graphical objects under given constraints to maximize the quality of these objects is revealed; examples include viewer engagement, temporal ordering of textual elements, and an increase in the completeness of topological observability by changing the structure of the mathematical model of the information system.

2. A generalized formulation of the optimization task is stated, and a methodology for its solution within systems analysis is substantiated. The mathematical

apparatus developed by the author is characterized; it allows formalizing uncertainties and multilevel interconnections, ensuring effective solutions to optimization tasks. Practical implementation of the methodology is demonstrated by examples of automated generation of layouts of graphical objects, construction of structural-logical schemes of educational programmes, and development of analytical web systems.

3. A comprehensive four-stage approach to the analysis and temporal ordering of educational-programme content is proposed. A method for detecting and grouping key concepts based on the analysis of educational components is developed, as well as an algorithm for determining temporal relations of disciplines based on life-cycle process analysis. This approach ensures systematicity and completeness in the analysis of educational programs.

4. A new method is developed for optimizing information models of spatially scalable analytical web systems according to the criterion of completeness of their topological observability, which enables analysis of observability completeness both at each spatial-scaling level—where analytical operations are planned in the designed web system—and for the system as a whole. Such analysis allows the introduction of software constraints in web-system functionality to avoid queries or dependencies not provided by data due to incomplete topological observability of individual (or all) system levels. Each criterion is normalized, which makes it possible to compose them into a complex objective function. Specialized optimization methods harmonized with the base model are developed for three subject areas: (i) a recommendation-based layout algorithm using a machine-learning model and engagement-index prediction; (ii) a neural-network approach for assessing temporal directionality, enabling ordering of a pair of educational components with relative ordering; (iii) a method for maximizing topological observability with an algorithm for adding intra-level and inter-level dependencies.

5. An intelligent information technology for optimizing multilevel-system parameters is created, and its universality, effectiveness, and compliance with modern speed and quality requirements are proven. A module is developed that implements the method of layout design for graphical and textual elements on graphical objects (posters,

placards, etc.) as multilevel systems, which, on the basis of a pre-trained intelligent model and a subset of given parameters, determines optimal values of other parameters, simultaneously increasing object quality and reducing design time. System testing results showed an increase in the predicted quality of the laid-out object compared with analogous solutions.

6. A neural-network approach to determining temporal directionality in texts that lack explicit time markers is developed, together with additional modules for extracting word definitions from context and classifying temporal phrases. A new term “temporal directionality” is introduced, reflecting a probabilistic approach to evaluating the order of word appearance based on statistical patterns in textual data. The proposed approach uses deep neural networks to model the probability that one word appears earlier than another by pairwise comparison of words in news texts.

7. Practical application of the approach is demonstrated on a dataset of 127 000 dated texts collected from social networks. Results show high accuracy in chronological ordering of documents. Several intelligent models for classifying temporal directionality at the document level are tested; the best result of 89.76 % Accuracy on the validation dataset is achieved by a Gradient Boosting Classifier. The developed technology can be applied for automatic reconstruction of ordering of texts without explicit time markers, which is useful for automating the analysis of large text corpora and establishing links between events in various contexts. During the study a dataset and a trained recurrent neural network for classifying temporal phrases from natural-language texts are created and published. The obtained results have great potential for further development and improvement; increasing the accuracy of temporal-phrase extraction and their conversion into exact time values are subjects of future research.

8. The method’s operation is demonstrated by developing an automated web system for calculating and forecasting the water-management balance of the Dniester basin. Applying the developed approach at the design stage of this system prevented the occurrence of queries or dependencies unsupported by data. The system is developed and successfully implemented. An example in the domain of water-resources management demonstrated the operability of the proposed solutions. Using the method

within the GEF/UNDP/OSCE project “Promoting Cross-Border Cooperation and Integrated Water Resources Management in the Dniester River Basin,” an automated web system for calculating and forecasting the water-management balance of the Dniester basin is developed and implemented.

Scientific novelty of the dissertation lies in the following provisions:

1. For the first time, for multilevel multi-linked information systems capable of processing data at different levels of spatial detail, a method for maximizing model topological observability is proposed, enabling accelerated design of fully topologically observable systems for scenario-modeling tasks and decision-support using these systems. The method can also be applied to a multilevel information system whose data are not time-bound.
2. The method of intelligent optimization of temporal ordering of textual objects is improved through a new criterion of temporal directionality, which enables formulating recommendations for different hierarchy levels of these textual objects, thereby accelerating their design and improving quality. For example, in educational programs the method quickly optimizes temporal ordering of interconnected mandatory components based on ordering of their content modules and topics.
3. The method of layout design of graphical and textual elements on graphical objects as multilevel systems receives further development; on the basis of a pre-trained intelligent model and a subset of given parameters, it determines optimal values of other parameters, simultaneously increasing object quality and reducing design time.
4. For the first time, an intelligent information technology is developed for optimizing parameters of textual and graphical objects in multilevel systems of various subject areas—such as poster layout design, ordering of structural-logical schemes of educational programs, and design of multilevel topologically observable analytical information systems—which, due to a multimodal approach to formalizing parameters of hierarchically structured

information about these objects in multilevel systems, improves their quality and speeds up their design.

Real-world trials of the intelligent information technology for optimizing parameters of textual and graphical objects in multilevel systems confirm increased quality and speed of designing these systems. The trial showed a reduction of total poster-design time (as a multilevel system) by 20.37 % compared to traditional approaches and an increase of predicted quality by 4.72–7.62 %.

Practical value of the obtained results:

1. Software modules for automated poster layout design are created and tested; they are able to predict and increase poster popularity. During the research a dataset of parameters of many posters is compiled, containing information on colours, fonts, composition, and user feedback. A prototype software environment is formed, enabling a designer to receive recommendations on placement of textual blocks; this prototype can be refined as an add-on module for modern graphic editors. A corpus of content modules from syllabi of more than fifty disciplines of the “Information Systems and Technologies” bachelor educational-professional programme (EPP) at VNTU is collected and analysed. Recommendations are developed and delivered to the guarantor and quality-assurance group of this EPP for use in its optimization. An algorithm is implemented for data optimization in scalable analytical web systems, improving topological observability and coverage completeness of variables at different detail levels; this algorithm is applied in practice in studies related to optimizing the water-management balance of the Dniester basin. Adding inter-level dependencies enhanced the complexity and quality of analytical calculations without excessive data duplication.

2. The results are implemented in the work of the printing-publishing house LLC “TVORY”. The dissertation results are recommended for use in the practical activity of “TVORY” when laying out graphic products: posters, placards, advertisements, etc. The improved method of layout design of graphical and textual elements on graphical objects using a pre-trained intelligent model that determines optimal values of other parameters, and the use of the method of ordering structural-logical schemes, accelerate their design

and layout. Implementation in the production process is confirmed by an Implementation Act (10 January 2025) (Appendix A).

The obtained results are useful for:

- the educational process at Vinnytsia National Technical University when teaching the discipline “Information Technologies for Monitoring and Data Analysis” to PhD-level students of the “Information Systems and Technologies” programme of the same speciality 126, to train knowledge and skills in intelligent information technologies (Implementation Act, 21 April 2025). In addition, within the educational process the lecturer of the discipline “Intelligent Image-Processing Technologies,” an assistant of the department, is provided with the methodological, algorithmic, and software support developed by the applicant for synthesizing posters from partial input data. Recommendations for temporal ordering of individual educational components in the structural-logical scheme of the bachelor-level EPP “Applied Information Technologies” (speciality 126) are delivered to its guarantor, Assoc. Prof. Y. M. Kryzhanovskyi.
- printing-publishing houses when laying out graphic products. The developed technology and methods accelerate layout design of graphic objects and design of structural-logical schemes, as confirmed by the Implementation Act (10 January 2025) (Appendix A).

It should also be noted that the developed information technology for optimizing parameters of textual and graphical elements of multilevel systems can, with certain adaptation, be applied to other subject areas.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, information technology, intelligent technology, natural language processing, automatic recognition, optimization, mathematical models, analytical web systems, neural networks.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

[1] В. Б. Мокін і Б. С. Білецький, Інтелектуальна технологія макетування якісних афіш, *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 73-82 (Груд 2019.) <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-147-6-73-82> (**Index Copernicus, Наукове фахове видання України, категорія «Б» зі спеціальності 126**)

[2] Білецький Б., Мокін В. Інтелектуальна технологія аналізу темпоральної упорядкованості елементів структурно-логічної схеми освітньої програми. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, Хмельницький, 2024 (4), 401–408. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-49> (**Index Copernicus, Наукове фахове видання України, категорія «Б» зі спеціальності 126**)

[3] В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, А. М. Лучко, Б. С. Білецький, і С. О. Жуков, «Метод оптимізації інформаційних моделей масштабованих у просторі аналітичних веб-систем за критерієм повноти їхньої топологічної спостережуваності», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 6, с. 131–141, Груд. 2021. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-159-6-131-141> (**Index Copernicus, Наукове фахове видання України, категорія «Б» зі спеціальності 126**)

[4] Б. С. Білецький, В. Б. Мокін «Визначення темпоральної спрямованості в текстах: нейромережевий підхід для хронологічного впорядкування на основі аналізу пар слів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 6, Груд. 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-121-128> (**Index Copernicus, Наукове фахове видання України, категорія «Б» зі спеціальності 126**)

[5] Білецький Б. С. Інтелектуальна інформаційна технологія оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах [Електронний ресурс] / Б. С. Білецький // *Матеріали LIV Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. – Електрон. текст. дані. – 2025. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2025/paper/view/24428>

[6] Білецький Б.С. Адаптація методу дистиляції знань природною мовою для класифікації темпоральних фраз. *Матеріали LIII Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 20 – 22 березня 2024 р. Збірник наукових праць [Електронний ресурс], <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/788/1373/2632-1>

[7] Білецький Б. С. Використання методів оброблення природної мови для вилучення визначень слів із контексту [Електронний ресурс] / Б. С. Білецький // *Матеріали LII Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 21-23 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2023/paper/view/18886>

[8] В. Б. Мокін, Б. С. Білецький. Аналіз підходів до оптимізації об'єктів на основі інтелектуальних технологій відстеження траєкторії погляду. *Матеріали LI Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 31 травня – 1 червня, 2022 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/download/16163/13570>

[9] Б.С. Білецький. Розроблення веб-системи обліку надання допомоги вимушено внутрішньо переміщеним особам в Україні. *Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток: колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції* (14-16 листопада 2022 р.). Київ, 2022. С. 197-199. – Режим доступу: https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-06_UDK_book_Monografia_48x210.pdf.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ У БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМАХ.....	28
1.1. Аналіз предметної області	28
1.2. Огляд та аналіз існуючих методів та підходів до оптимізації параметрів та взаємозв'язків у багаторівневих системах	41
1.3. Висновки до розділу та постановка задач дослідження	59
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМ.....	63
2.1. Розроблення загальної концепції та формалізації багаторівневих систем.....	63
2.2. Удосконалення методу оптимізації параметрів макетування графічного об'єкта.....	64
2.3. Удосконалення методу оптимізації темпоральної упорядкованості текстових елементів.....	69
2.4. Розроблення методу оптимізації параметрів аналітичних вебсистем	81
2.5. Висновки до розділу 2.....	91
РОЗДІЛ 3 СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМ.....	93
3.1. Алгоритм та реалізація інформаційної технології оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах	93
3.2. ІТ-інфраструктура інтелектуальної технології.....	97
3.3. Розроблення рекомендацій щодо застосування створеної інтелектуальної технології.....	100
3.4. Порівняння ефективності роботи створеної інтелектуальної технології з аналогами.....	102
3.5. Висновки до розділу 3.....	108
РОЗДІЛ 4 ПРИКЛАДНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	109

4.1. Застосування розробленої технології у макетуванні афіш.....	109
4.2. Застосування розробленої технології в оптимізації освітніх програм.....	116
4.3. Застосування розробленої технології в оптимізації аналітичних вебсистем ...	125
4.4. Впровадження результатів дослідження в навчальний процес	131
4.5. Впровадження результатів дослідження у виробничий процес	132
4.6. Висновки до розділу 4.....	133
ВИСНОВКИ.....	135
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	142
ДОДАТКИ.....	156
ДОДАТОК А - СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	157
ДОДАТОК Б – АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС.....	159
ДОДАТОК В – АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС	160

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Важливе значення у сучасному світі мають багатозв'язні багаторівневі системи з текстовими та/чи графічними об'єктами, які створюються за певними шаблонами та вимогами, але передбачають значну варіативність параметрів, наприклад: афіші певних подій, освітні програми, інформаційні аналітичні системи, які реалізують моделі різного рівня деталізації. Параметрами, які оптимізуються, можуть бути такі: розміщення, розмір, стиль оформлення текстових та графічних елементів афіш, в освітніх програмах – послідовність розташування обов'язкових освітніх компонентів на структурно-логічній схемі програми, для інформаційних аналітичних систем – структура математичних залежностей. До цих об'єктів, як правило, висуваються вимоги щодо гарної якості, кількісними критеріями якої, залежно від предметної області, можуть бути такі: максимальна кількість вподобань чи переглядів об'єктів на вебсайтах чи у соцмережах, максимально коректне темпоральне упорядкування текстових елементів, максимальна повнота топологічної спостережуваності інформаційної системи тощо. При цьому, в наш час важливим є максимально швидке проєктування подібних об'єктів, яке можна досягти, за рахунок автоматизації з використанням інформаційних систем та технологій.

Такі оптимізовані об'єкти і системи мають потенційно важливе значення для багатьох сфер суспільства, таких як маркетинг, освіта, аналітика даних тощо. Наприклад, якісні афіші сприяють залученню аудиторії, якісні освітні програми — підвищенню якості підготовки фахівців, якісні інформаційні системи — більш ефективному моделюванню, програнню сценаріїв та підтримці прийняття рішень.

Такими дослідженнями займається велика кількість вчених у майже усіх країнах світу, але досі не мали універсального розв'язку задачі оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів з урахуванням заданих обмежень з метою максимізації якості цих об'єктів, прикладами яких є залученість глядачів, темпоральне впорядкування текстових елементів для пришвидшення процесу

проектування схем багаторівневих систем, а також збільшення повноти топологічної спостережуваності за рахунок зміни структури математичної моделі інформаційної системи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Дисертаційна робота виконувалась у межах науково-дослідної роботи (НДР) кафедри САІТ 28-К7 «Інформаційні технології та системи моніторингу, моделювання та системного інтелектуального аналізу й оптимізації даних у складних об'єктах» протягом 2021-2023 рр. на замовлення МОН України та — у межах НДР кафедри САІТ 28-К8 «Системний аналіз та створення інформаційних систем й інтелектуальних технологій процесів у складних об'єктах» протягом 2024-2025 рр. на замовлення МОН України.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є збільшення швидкості проектування та підвищення якості текстових та графічних об'єктів у багаторівневих багатозв'язних системах з невизначеністю, з урахуванням шаблонів і вимог, шляхом створення інтелектуальної інформаційної технології оптимізації параметрів цих об'єктів.

У результаті проведеного аналізу сформульовано наступні задачі дослідження задля досягнення поставленої мети:

1. Провести огляд відомих методів і технологій оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах, враховуючи їх специфіку у відповідних предметних областях.
2. Розробити чи удосконалити методи оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах задля підвищення якості цих систем.
3. Розробити та випробувати на реальних прикладах інтелектуальну інформаційну технологію оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах, яка забезпечує збільшення швидкості проектування та підвищення якості цих систем.

Об'єкт дослідження – процес оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах з невизначеністю.

Предмет дослідження – інтелектуальна технологія оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах з невизначеністю.

Методи дослідження. Основними методами дослідження обрані: аналіз предметної області, огляд існуючих досліджень та результатів інших дослідників, побудова математичних моделей, застосування комп'ютерного моделювання та проєктування інтелектуальної технології оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше для багаторівневих багатозв'язних інформаційних систем, здатних до оброблення даних на різних рівнях просторової деталізації, запропоновано метод максимізації топологічної спостережуваності моделей, який дозволяє прискорити проєктування повністю топологічно спостережуваних систем для розв'язання задач моделювання сценаріїв та підтримки прийняття рішень з використанням цих систем. Метод може бути застосований і до багаторівневої інформаційної системи, дані якої не прив'язані в часі.
2. Удосконалено метод інтелектуальної оптимізації темпоральної упорядкованості текстових об'єктів, за рахунок нового критерію темпоральної спрямованості, який дозволяє сформулювати рекомендації для різного рівня ієрархії цих текстових об'єктів, що, в цілому, дозволить пришвидшити проєктування та якість цих об'єктів. Наприклад, для освітніх програм метод дозволяє швидко оптимізувати темпоральну упорядкованість взаємопов'язаних обов'язкових освітніх компонентів на основі упорядкування їх змістових модулів і тем.
3. Дістав подальший розвиток метод макетування графічних і текстових елементів на графічних об'єктах (афіш, постерів тощо) як багаторівневих системах, який на основі передтренованої інтелектуальної моделі та частини заданих параметрів, визначає оптимальні значення інших параметрів, що одночасно підвищує якість цих об'єктів та скорочує час на їх проєктування.

4. Вперше розроблено інтелектуальну інформаційну технологію оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах різних предметних областей, таких як макетування афіш, впорядкування структурно-логічних схем освітніх програм та проектування багаторівневих топологічно-спостережуваних інформаційних аналітичних систем, яка, за рахунок мультимодального підходу до формалізації параметрів ієрархічно структурованої інформації про ці об'єкти у багаторівневих системах, дозволяє підвищити їх якість та пришвидшити їх проектування.

Практичне значення отриманих результатів. Створено та апробовано програмні модулі для автоматизованого макетування афіш, які здатні прогнозувати та підвищувати популярність афіш. У ході дослідницької роботи зібрано набір даних з параметрів багатьох афіш, що містить інформацію про кольори, шрифти, композицію та відгуки користувачів. Сформовано прототип програмного середовища, який дає змогу дизайнеру отримувати рекомендації щодо розміщення текстових блоків. Цей прототип може бути доопрацьований у вигляді додаткового модуля для сучасних графічних редакторів. Зібрано датасет для навчання інтелектуальних моделей класифікації часових міток у текстах, що містить 1 078 862 записи, навчено модель класифікації, яка досягає точності 98 % та демонструє гарні результати під час тестування на реальних даних. Зібрано та проаналізовано корпус змістових модулів із силабусів більше 50 дисциплін спеціальності «Інформаційні системи та технології» освітньо-професійної програми (ОПП) «Прикладні інформаційні технології» рівня «бакалавр», за якою здійснюється навчання здобувачів у ВНТУ. Розроблено рекомендації, які передано гаранту та групі забезпечення цієї ОПП для використання під час її оптимізації. Реалізовано алгоритм оптимізації даних у масштабованих аналітичних вебсистемах, що покращує топологічну спостережуваність і повноту покриття змінних на різних рівнях деталізації. Цей алгоритм застосовано на практиці у дослідженнях, пов'язаних з оптимізацією водогосподарського балансу у басейні Дністра. Завдяки додаванню міжрівневих залежностей вдалося

підвищити комплексність та якість аналітичних розрахунків без надмірного дублювання даних.

Результати роботи впроваджено в роботі вінницької друкарні-видавництва ТОВ «ТВОРИ».

Особистий внесок здобувача. Усі теоретичні результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто.

[1] В. Б. Мокін і Б. С. Білецький, Інтелектуальна технологія макетування якісних афіш, Вісник Вінницького політехнічного інституту, вип. 6, с. 73–82, Груд. 2019. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-147-6-73-82>.

Запропоновано метод макетування графічних і текстових елементів на графічних об'єктах (афіш, постерів тощо) як багаторівневих системах, який на основі передтренованої інтелектуальної моделі та частини заданих параметрів, визначає оптимальні значення інших параметрів, що одночасно підвищує якість цих об'єктів та скорочує час на їх проєктування. Запропоновано частковий випадок задачі оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів афіш. Показано яким чином уніфікована формалізація цієї постановки задачі адаптується у предметній області дизайну афіш для підвищення їх якості.

[2] В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, А. М. Лучко, Б. С. Білецький, і С. О. Жуков, «Метод оптимізації інформаційних моделей масштабованих у просторі аналітичних вебсистем за критерієм повноти їхньої топологічної спостережуваності», Вісник Вінницького політехнічного інституту, вип. 6, с. 131–141, Груд. 2021. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-159-6-131-141>.

Вперше для багаторівневих багатозв'язних інформаційних систем, здатних до оброблення даних на різних рівнях просторової деталізації, запропоновано метод максимізації топологічної спостережуваності моделей, який дозволяє прискорити проєктування повністю топологічно спостережуваних систем для розв'язання задач моделювання сценаріїв та підтримки прийняття рішень з використанням цих систем. Метод може бути застосований і до багаторівневої інформаційної системи, дані якої не прив'язані в часі.

[3] Білецький Б., Мокін В. Інтелектуальна технологія аналізу темпоральної упорядкованості елементів структурно-логічної схеми освітньої програми. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, Хмельницький, 2024 (4), 401–408. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-49>.

Запропоновано частковий випадок задачі оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів багатозв'язних багаторівневих систем у предметній області навчальної програми. Показано яким чином уніфікована формалізація адаптується для оптимізації порядку навчальних компонентів для підвищення темпоральної впорядкованості структурно-логічної схеми програми. Розроблено метод інтелектуальної оптимізації темпоральної упорядкованості текстових об'єктів, за рахунок нового критерію темпоральної спрямованості, який дозволяє сформулювати рекомендації для різного рівня ієрархії цих текстових об'єктів, що, в цілому, дозволить пришвидшити проєктування та якість цих об'єктів. Наприклад, для освітніх програм метод дозволяє швидко оптимізувати темпоральну упорядкованість взаємопов'язаних обов'язкових освітніх компонентів на основі упорядкування їх змістових модулів і тем. Це дозволяє підвищити якість структурно-логічних схем, завдяки кращій темпоральній упорядкованості, та пришвидшити проєктування.

[4] Б. С. Білецький, В. Б. Мокін «Визначення темпоральної спрямованості в текстах: нейромережевий підхід для хронологічного впорядкування на основі аналізу пар слів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 6, Груд. 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-121-128>.

Вперше представлено поняття та критерій темпоральної спрямованості та запропоновано нейромережевий підхід для визначення темпоральної спрямованості між парами слів та здійснено передбачення показника темпоральної спрямованості між двома текстами, з метою темпорального впорядкування текстів, які не мають явних часових маркерів.

[5] Білецький Б. С. Інтелектуальна інформаційна технологія оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах [Електронний ресурс] / Б. С. Білецький // *Матеріали LIV Науково-технічної*

конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. – Електрон. текст. дані. – 2025. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2025/paper/view/24428>.

Представлено загальну концепцію та формалізацію задачі оптимізації параметрів текстових/графічних елементів у складних системах з невизначеністю, що мають багаторівневу багатозв'язну структуру та спосіб використання даної формалізації для постановки задачі в різних предметних областях.

[6] Білецький Б.С. Адаптація методу дистиляції знань природною мовою для класифікації темпоральних фраз. Матеріали ЛІІІ Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ, Вінниця, 20 – 22 березня 2024 р. Збірник наукових праць [Електронний ресурс], <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/788/1373/2632-1>.

Представлено вдосконалення процесів автоматичного розпізнавання та класифікації темпоральних фраз у природномовних текстах за допомогою використання нейронної мережі, навченої на синтезованих великими мовними моделями корпусах даних.

[7] Білецький Б. С. Використання методів оброблення природної мови для вилучення визначень слів із контексту [Електронний ресурс] / Б. С. Білецький // Матеріали ЛІІ Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ, Вінниця, 21-23 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2023/paper/view/18886>.

Охарактеризовано теоретичні засади та наведено приклад застосування методів оброблення природної мови (NLP) для видобування визначень слів з їхнього природного контексту з використанням комбінації бібліотек і моделей NLP, зокрема SpaCy, bert-extractive-summarizer і NLTK, для аналізу та виявлення речень, які найкраще відображають визначення заданого слова. Це стало

передумовою пошуку ключових слів, як елементів текстових об'єктів для їх подальшого темпорального упорядкування.

[8] В. Б. Мокін, Б. С. Білецький. Аналіз підходів до оптимізації об'єктів на основі інтелектуальних технологій відстеження траєкторії погляду. Матеріали ІІ Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ, Вінниця, 31 травня – 1 червня, 2022 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/download/16163/13570>.

Охарактеризовано сучасну технологію автоматичного відстеження траєкторії погляду, як одного з можливих джерел інформації для оцінювання якості афіш або інших графічних об'єктів.

[9] Б.С. Білецький. Розроблення веб-системи обліку надання допомоги вимушено внутрішньо переміщеним особам в Україні. *Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток: колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції* (14-16 листопада 2022 р.). Київ, 2022. С. 197-199. – Режим доступу: https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-06_UDK_book_Monografia_48x210.pdf.

Зроблено аналіз практичного кейсу розробленої багаторівневої веб-системи для обліку внутрішньо переміщених осіб, що демонструє необхідність динамічного формування форм введення текстових даних, залежно від специфіки задачі. Підтверджено практичну необхідність досліджуваних методів багаторівневої оптимізації текстових і графічних об'єктів для розв'язання прикладних задач, пов'язаних з розробленням адаптивних багаторівневих інформаційних систем.

Апробація матеріалів дисертації. Основні наукові результати та практичні розробки дисертаційної роботи пройшли апробацію на 5 наукових конференціях, у т.ч. на міжнародній конференції в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України у м. Київ:

- LIV Науково-технічна конференція факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ, Вінниця, 24-27 березня 2025 р.;
- LIII Науково-технічна конференція факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ, Вінниця, 20 – 22 березня 2024 р.;
- LII Науково-технічна конференція факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ, Вінниця, 21-23 червня 2023 р.;
- LI Науково-технічна конференція факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ, Вінниця, 31 травня–1 червня, 2022 р.;
- XXI Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток» (НАН України, м. Київ, листопад 2022).

Публікації.

Всього за тематикою дисертаційного дослідження опубліковано 9 наукових праць. Опубліковано 4 статті у фахових журналах України з технічних наук [1], [2], [3], [4], 1 тези доповідей на міжнародні конференції, що увійшли у колективні монографії [5] та 4 тези доповідей на науково-практичних конференціях [6], [7], [8], [9].

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 160 сторінок, у тому числі: 123 сторінки основного тексту, 54 рисунків, 10 таблиць, список використаних джерел із 100 найменувань, кількість додатків – 3.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ У БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМАХ

1.1. Аналіз предметної області

Системи, що містять у собі графічні та текстові елементи, широко використовуються у сферах освіти, інформаційних технологій, графічного дизайну та аналізу даних. При цьому слід зазначити, що такі системи часто мають багаторівневу, багатозв'язну структуру, містять невизначеність та потребують оптимізації задля підвищення якості таких систем та збільшення швидкості їхнього проектування [6].

Наприклад, в задачах автоматизованого генерування макетів графічних об'єктів (рис. 1.1), впорядкуванні структурно-логічних схем освітніх програм (рис. 1.2) та у побудові структур аналітичних вебсистем (рис. 1.3) [6].



Рис. 1.1. Приклад макета графічного об'єкта (запрошення)

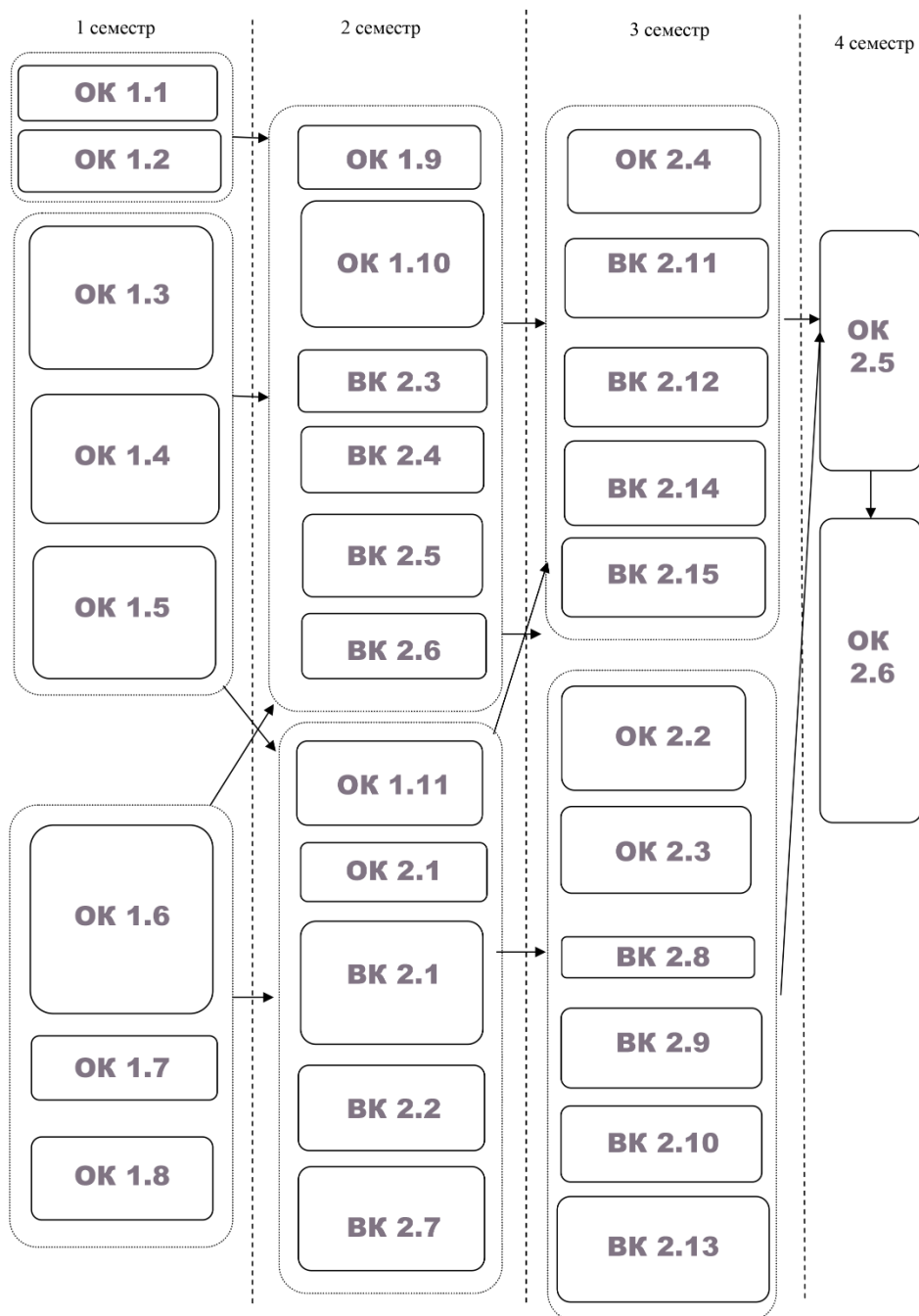


Рис. 1.2. Приклад структурно-логічної схеми освітньої програми

На рисунку 1.2. наведено приклад структурно-логічної схеми освітньої програми спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» магістерського рівня Харківського національного університету радіоелектроніки.

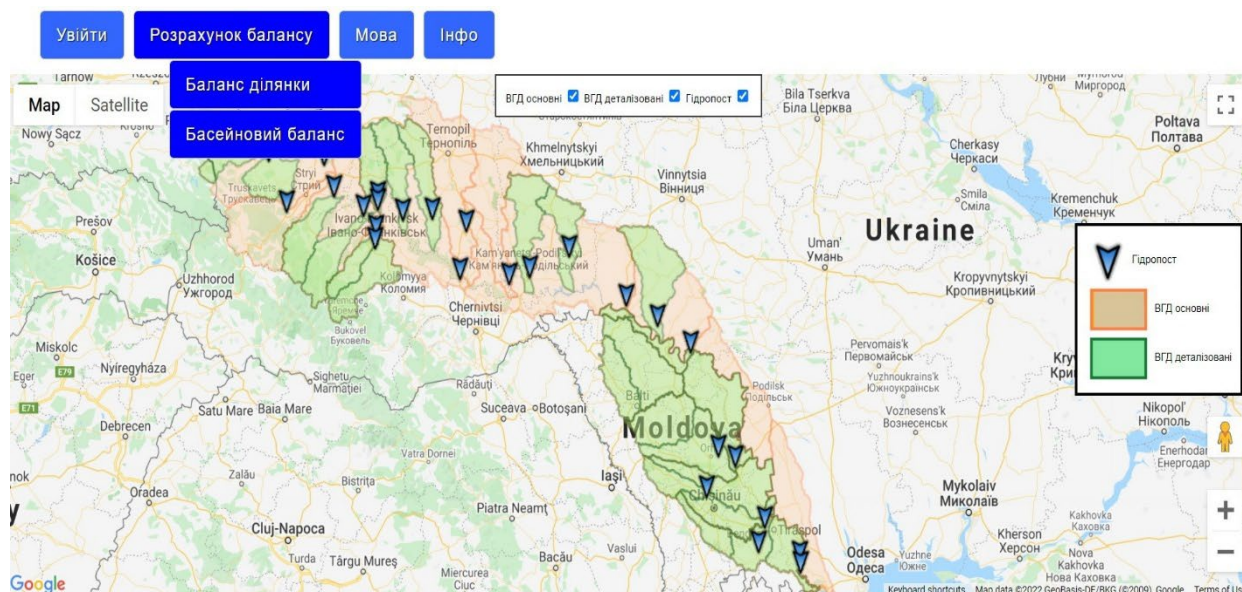


Рис. 1.3. Інтерфейс аналітичної вебсистеми розрахунку і прогнозування водогосподарського балансу, створеної у межах проєкту «Сприяння транскордонному співробітництву та комплексного управління водними ресурсами в басейні річки Дністер»

1.1.1. Аналіз класу задач оптимізації багаторівневих систем

Розглянемо особливості оптимізації багаторівневих систем у предметній області макетування графічних об'єктів на прикладі макетування афіш. Графічні об'єкти, такі як афіші, відіграють важливу роль в організації подій. Якісні афіші привертають увагу цільової аудиторії, висвітлюють найпривабливіших аспектів та містять лаконічне викладення основної інформації, наприклад, де, в якому місці і коли відбуватиметься захід. Макетуванням називається процес взаємного компонування елементів макета з урахуванням балансу, форми, масштабу, пропорційності, кольору та інших факторів, що визначають сприйняття, для досягнення мети видання [10]. Задачу макетування якісного графічного об'єкта вирішується тисячами людей щодня. Зазвичай на вході подібної задачі є певна інформація та визначений формат в межах якого вона має висвітлюватися. Найчастіше інформація подається у вигляді текстових, графічних та іноді табличних даних. Формат видання графічного об'єкта може бути цифровим

(призначеним для публікації чи поширення в мережі інтернет) та друкованим. Формат видання накладає певні вимоги до параметрів відображення текстової та графічної інформації [6]. Наприклад, для графічних об'єктів, призначених для публікації в соціальній мережі TikTok, зазвичай, існує вимога не розташовувати важливі елементи публікації внизу композиції, через те, що ці елементи при перегляді можуть бути закриті інтерфейсом соціальної мережі (рис. 1.4).

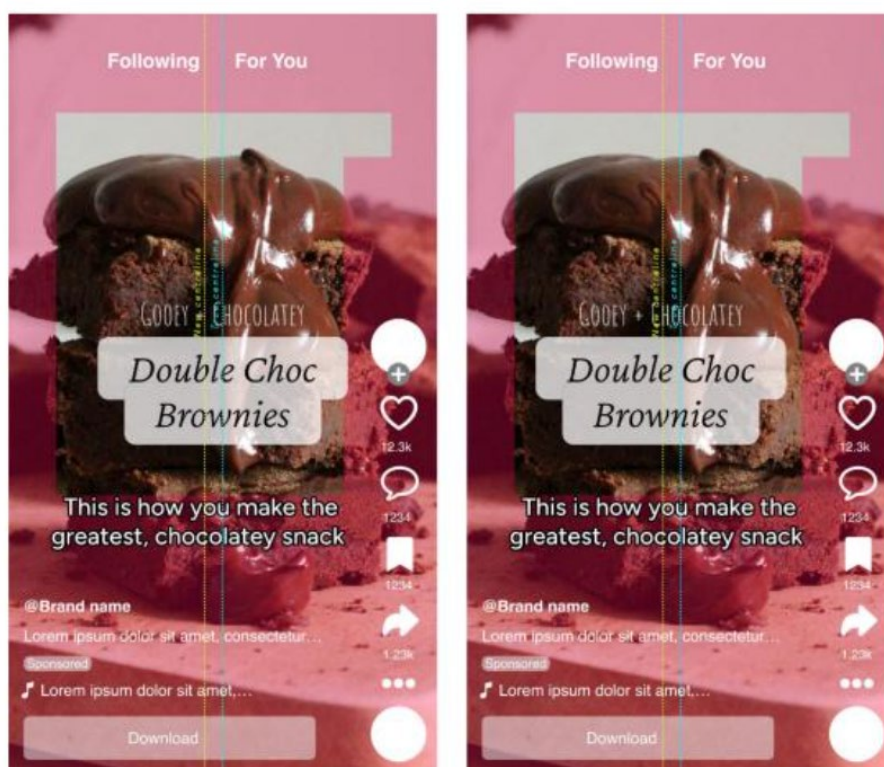


Рис. 1.4. Скриншот візуально збалансованого допису в TikTok [11]

Для макетування графічних об'єктів зазвичай використовуються спеціалізовані графічні пакети програм, переважно компанії Adobe, такі як Illustrator, Adobe Photoshop тощо [12], [13].

Хоча макетування з однієї сторони вважається творчим процесом, з іншої сторони усталена практика впродовж років сприяла виникненню певних правил та шаблонів розв'язання цієї задачі. Ці правила зазвичай є узагальненими висновками про те, який набір параметрів графічного об'єкта чи їх співвідношення забезпечує найвищий рівень якості такого об'єкта [14].

Графічні дизайнери використовують сайти-агрегатори для публікації найкращих своїх робіт як власного портфоліо. Деякі з найпопулярніших сайтів-агрегаторів: Behance (<https://www.behance.net>), Adobe Portolio (<https://portfolio.adobe.com/>), ArtStation (<https://www.artstation.com/>) та Dribbble (<https://dribbble.com/>). На рисунку 1.5 зображено графік їхньої популярності за кількістю відвідувань за останній місяць (станом на березень 2025 року). Користувачами подібного сайту зазвичай виступають здебільшого графічні дизайнери, ілюстратори, фотографи, розробники користувацького інтерфейсу, а також замовники, які шукають професійних виконавців. Такі сайти мають схожу на соціальні мережі структуру, Зокрема, профілі користувачів містять публікації, користувачі сайту можуть проглянувши роботи, можуть залишити коментар та поставити відмітку вподобання. Деякі сайти-агрегатори (наприклад Dribbble) дозволяють реєстрацію виключно тим, хто запрошені від вже зареєстрованих користувачів; що може зумовлювати формування вузької спільноти більш досвідчених дизайнерів [15].

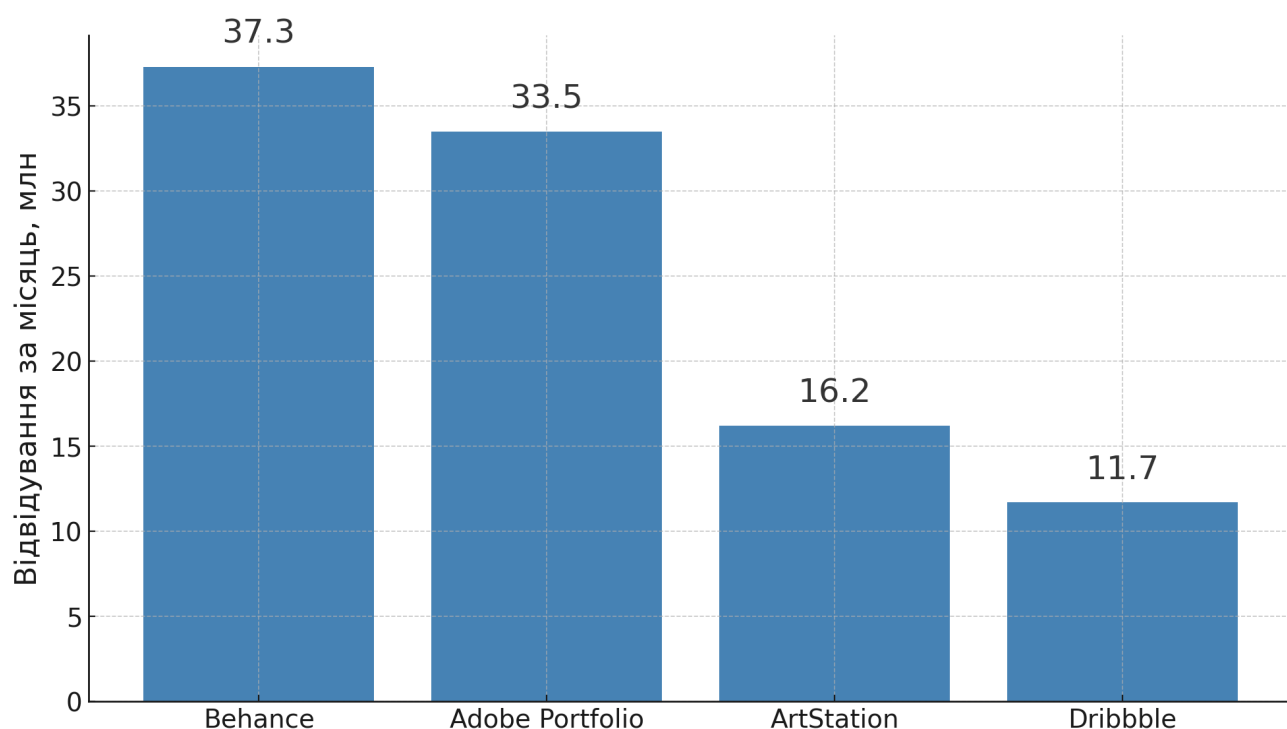


Рис. 1.5. Популярність сайтів-агрегаторів, березень 2025 року
(за даними аналітичного сайту similarweb.com)

Розглянемо особливості оптимізації багаторівневих систем у предметній області проєктування структурно-логічних схем. Відповідно до чинних вимог щодо реалізації освітнього процесу слід регулярно переглядати та оновлювати структурно-логічну схему освітніх програм та зміст її обов'язкових освітніх компонентів, відповідно до рекомендацій стейкхолдерів. Але оновлення структурно-логічної схеми може внести протиріччя у зміст освітніх компонентів (дисциплін та ін.) і навпаки — зміни у темах занять робочих програм дисциплін призведуть до деякої невідповідності у структурно-логічній схемі програми. І якщо для освітніх програм рівня “магістратури” чи “доктор філософії” гарант і група забезпечення ще може це відстежувати, то на рівні бакалаврату, де багато дисциплін і їх викладають різні кафедри, це вже — нетривіальна задача. Зокрема, в інженерних та інформаційно-технологічних спеціальностях важливо дотримуватися логіки переходу від вивчення базових понять і принципів (наприклад, “теорія та моделювання”, “програмні підходи на рівні огляду і формування” тощо) до глибшого освоєння методів “розроблення”, “налаштування” й “впровадження”. Ще складнішими є тріади, коли спочатку викладаються поняття, види, принципи функціонування та основи реалізації чогось (інформаційних систем, програмних продуктів, сервісів, технічних систем тощо), потім — як їх створювати та удосконалювати, а вже потім як використовувати на практиці для розв'язання прикладних задач та різні аспекти, які, при цьому, слід враховувати.

Розглянемо особливості оптимізації багаторівневих систем у предметній області проєктування аналітичних вебсистем. До сучасних аналітичних вебсистем ставиться все більше вимог [16]–[18], одними з яких є необхідність масштабування у просторі. Наприклад, усім зручно користуватись сервісом Google Maps і отримувати інформацію, зокрема аналітичну, спочатку на рівні континентів, потім — країн, регіонів, міст, вулиць (і навіть перегляд вулиць), організацій. Аналогічні вимоги ставляться й до інших вебсистем, які забезпечують аналітику про просторові об'єкти [19], [20]. Для відносно простих систем з малою кількістю даних, теоретично, можна передбачити усі можливі

запити на них та запрограмувати елементи інтерфейсу для їхнього обслуговування. Але для складних систем, де є чимало проміжних значень, що визначаються багатьма способами, забезпечення обслуговування довільного запиту перетворюється на нетривіальну задачу. Задача ускладнюється значно, коли система проєктується декількома командами і постійно розвивається. За таких умов, високою є ймовірність того, що якість оновлення чи розширення системи не буде узгоджуватись з наявними даними та моделями.

Одними з таких прикладів є «дашборди» (аналітичні панелі) з розвиненим інтерфейсом, коли користувач може сформулювати майже довільний запит і отримати результат на карті, у вигляді графіка або файлу на експорт [20] – [22]. Дуже неприємною є ситуація, коли замість результату складного запиту виводиться повідомлення про відсутність даних. Бажано, щоби вона виводилась ще на етапі формування запиту, не даючи вибрати ті чи інші параметри.

Головним у цій задачі є проєктування інформаційної моделі такої системи, тобто даних та їхніх зв'язків з системою запитів та функцій для обчислення аналітичних даних, які б дозволили отримати інформацію з різним рівнем агрегації у часі, просторі чи за семантикою [23].

1.1.2. Аналіз характеристик досліджуваного класу систем

Розглянуті в кожній з вище описаних предметних областей системи мають спільними наступні характеристики: багаторівнева та багатозв'язна структура, невизначеність. Розглянемо кожну з цих характеристик.

Багатозв'язність у предметній області макетування графічних об'єктів: текстові та графічні елементи складають собою інформаційні блоки, які, компонуючись разом, складають макет графічного об'єкта (рис. 1.6) [1].

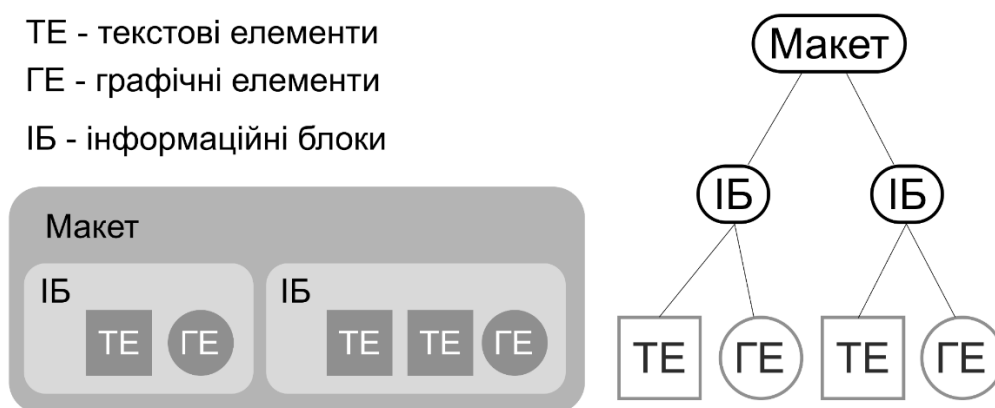


Рис. 1.6. Приклад багаторівневості в предметній області макетування графічних об'єктів

Освітні програми також мають багаторівневу структуру (рис. 1.7): теми, змістові модулі чи модулі, освітні компоненти та їх блоки [2].

Самі освітні програми також можуть розглядатися як один із рівнів, утворюючи зміст спеціальності із декількома освітніми програмами, а спеціальності, своєю чергою, можуть складати галузь.

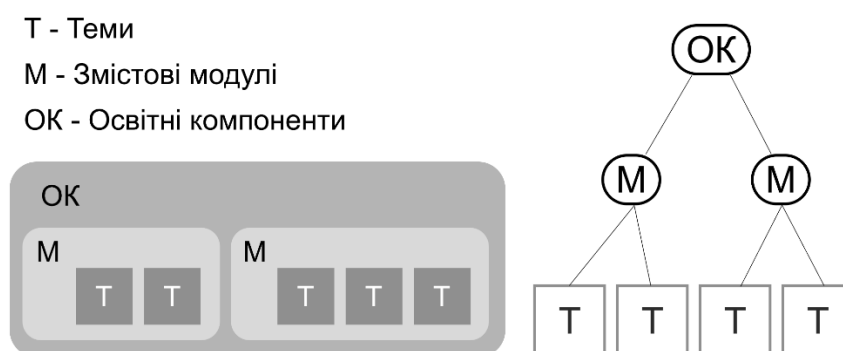


Рис. 1.7. Приклад багаторівневості в предметній області впорядкуванні структурно-логічних схем освітніх програм

Аналітичні вебсистеми також мають багаторівневу структуру: вимірювані величини поєднуються між собою математичними залежностями, які, своєю чергою, можуть бути пов'язані між собою системою рівнянь моделі (рис. 1.8) [3].

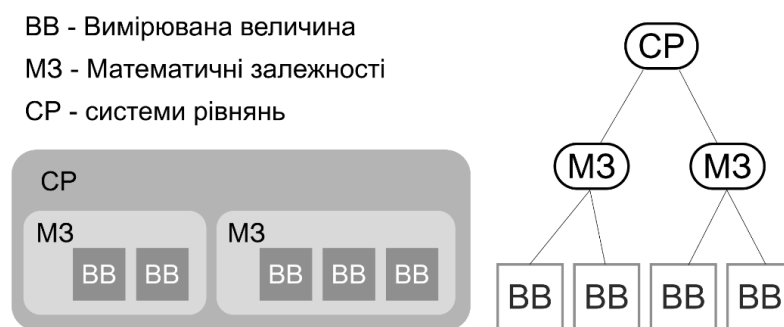


Рис. 1.8. Приклад багаторівневості в предметній області побудови структур аналітичних вебсистем

Окрім прямих ієрархічних зв'язків, у таких системах є також і міжрівневі зв'язки, які формулюються у вигляді обмежень чи математичних залежностей між елементами різних рівнів.

Наприклад, у макетуванні графічних об'єктів такий загальний параметр макета як розмір та співвідношення сторін друкованого формату накладає вимоги як на розташування кожного інформаційного блоку, так і на – вибір кегля шрифту текстових елементів. Класично, вибір розміру кегля та шрифту текстового елементу інформаційного блоку «Дата та час події» в макетуванні афіш, частіше за все, зумовлює такий самий вибір для текстових елементів текстових блоків інформаційного блоку «Адреса та місце події». Візуальний особистий стиль автора може, також, виражатися як перелік зв'язків між рівнями, або як обмеження до кожного виду текстових елементів, наприклад «Використовувати великі літери для набору заголовків, або ж навпаки звичайне чергування великих та маленьких літер («ЗАГОЛОВОК» / «Заголовок»)» (рис. 1.9) [1].

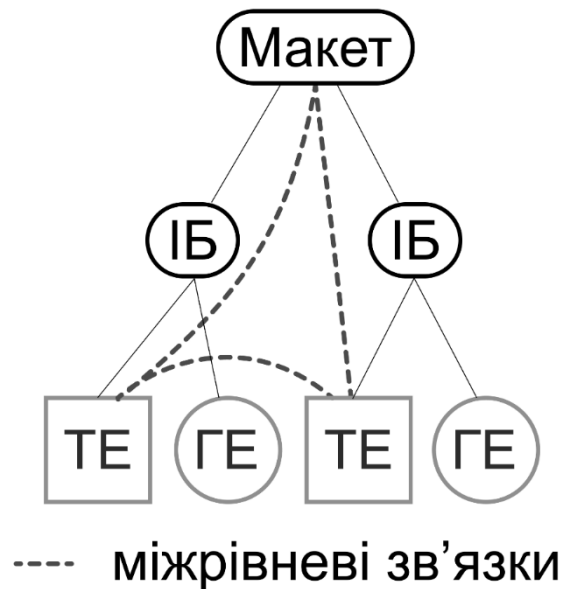
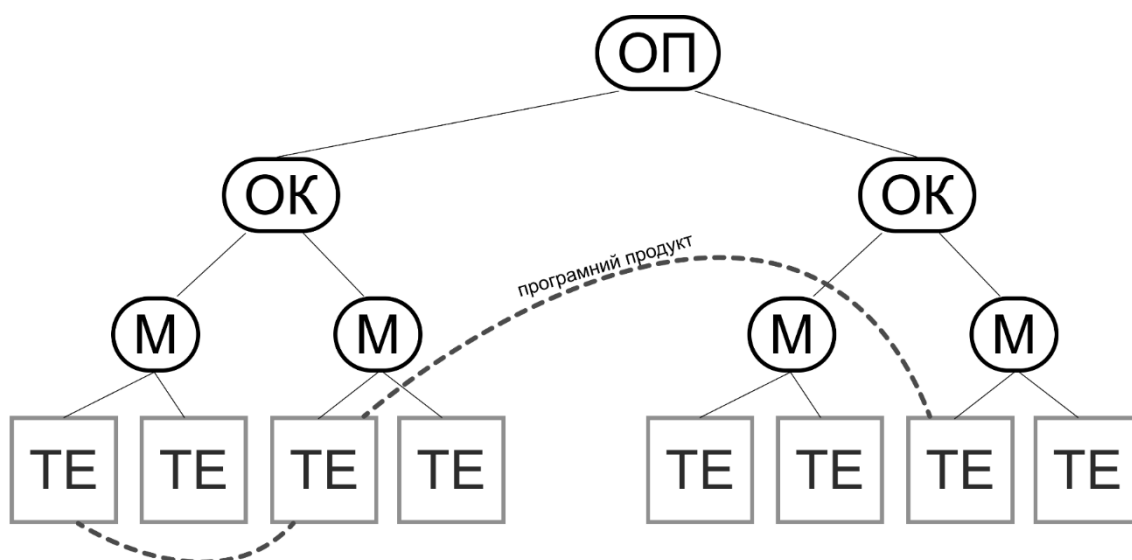


Рис. 1.9. Міжрівневі зв'язки у предметній області макетування графічних об'єктів

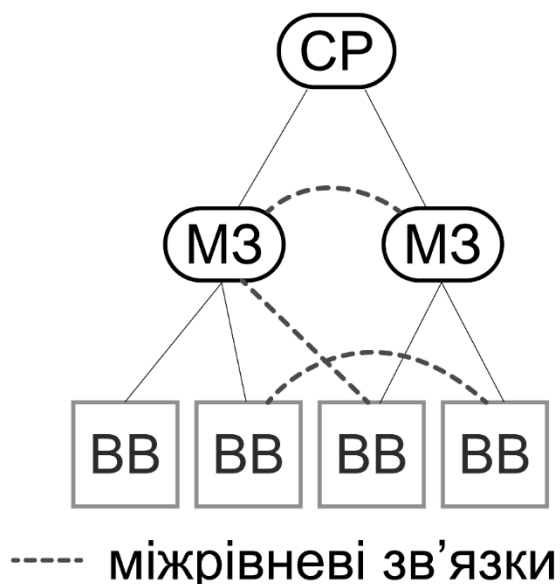
У випадку зі структурно-логічними схемами, існують тематичні зв'язки між дисциплінами, які відображені в ключових поняттях, виражених різними ключовими словами. Наприклад, ключові слова з опису дисциплін «програма, інформаційна система, вебдодатки» відображають в різних дисциплінах поняття «програмний продукт». У межах кожної тематики, яка описує розвиток ключових понять, існують власні принципи впорядкування. Наприклад, упорядкування по стадіях розвитку програмного продукту: спершу викладаються ті дисципліни, які описують проектування та архітектуру програмного продукту, потім – ті, які описують реалізацію програмного продукту, і лише потім – дисципліни, що описують впровадження, підтримку та розвиток програмного продукту (рис. 1.10) [2, 6].



ОП - освітня програма ----- міжрівневі зв'язки

Рис. 1.10. Міжрівневі зв'язки в предметній області впорядкуванні структурно-логічних схем освітніх програм

В аналітичних системах певні показники різних рівнів можуть бути поєднані між собою математичними залежностями, що також виявляє багатозв'язність таких систем (рис. 1.11) [3].



----- міжрівневі зв'язки

Рис. 1.11. Міжрівневі зв'язки в аналітичних вебсистемах

Задачі оптимізації подібних систем ускладнюються тим, що, окрім обмежень, вони часто містять ще й різні види невизначеності. Для афіш це може

бути невизначеність у розташуванні та форматуванні текстових елементів, які б забезпечили максимізацію критерію залученості [1]. Для структурно-логічних схем невизначеність полягає в тому, як в межах часу освітнього процесу певної навчальної програми розташувати освітні компоненти таким чином, щоб показник впорядкованості був якомога більшим, за замовчуванням їх розташування може бути будь-яким [2]. В аналітичних вебсистемах подібна невизначеність проявляється в тому, що невідомо які математичні залежності слід додавати, щоб забезпечити вищий рівень топологічної спостережуваності [3].

Подібні системи часто мають певну мету, яка може бути виражена в досягненні максимально можливого значення певного критерію якості.

Для афіш це – показник залученості глядачів, що може вимірюватися як частка бажаної дії (кількість уподобань) від загальної кількості глядачів [1].

Для структурно-логічних схем освітніх програм це може бути показник темпоральної впорядкованості [2, 6].

Для аналітичних вебсистем це може бути показник топологічної спостережуваності, який забезпечує можливість визначення кожної величини системи по інших величинах та співвідношеннях між ними, формалізованими у вигляді біхроматичного графа [3].

Через складну структуру та наявність невизначеності додатково ускладнюється процес їхнього проектування, що призводить до сповільнення швидкості їхнього проектування та оновлення.

Слід зазначити, що окрім зазначених вище прикладів з 3-х предметних областей, подібні системи також зустрічаються і в інших предметних областях.

1.1.3. Огляд прикладів багаторівневих багатозв'язних систем в інших предметних областях

В цьому пункті розглянуто дві предметні області, в яких також присутні багаторівневі багатозв'язні системи: проектування системи реєстрації

гуманітарної допомоги та ведення інформаційної системи кадастру водних ресурсів.

У сфері обліку надання гуманітарної допомоги, що особливо актуально в контексті української боротьби проти російської агресії. З 2014 року в Україні почалось вторгнення росії. У 2022 році почалась друга, більш масштабна, фаза вторгнення. Це призвело до того, що велика кількість людей були вимушені покинути свої домівки та міста та переїхати. Для надання їм необхідної та ефективної допомоги необхідно забезпечити їх реєстрацію з фіксуванням інформації. Досвід обліку внутрішньо переміщених осіб (ВПО) експертної групи ООН з питань біженців (EGRIS) показує, що системи статистичного обліку ВПО повинні мати наступні характеристики: конфіденційність, покриття, репрезентативність, своєчасність, періодичність, порівнянність, неупередженість, прозорість [24, 25]. На власному досвіді автора – створення пілотної версії системи обліку надання допомоги переселенцям Вінницької області. Станом на листопад 2023 року у Вінницькій міській територіальній громаді було зареєстровано понад 46 тисяч ВПО. Серед них щонайменше 19 тисяч людей були внесені у цю пілотну систему обліку. Від початку роботи щоденна кількість людей, що отримували допомогу, зростала від 50 до 520 людей. Така інтенсивність потоку вимагає прискорення усіх процесів, в тому числі і реєстрації. Отже, існує задача оптимізації таких вебсистем обліку надання допомоги, що дозволила б обслуговувати велику кількість ВПО за умови різноманітності та обмеженості ресурсів, розмаїття форм звітності, та дотримання вимог, запропонованих міжнародними організаціями. Кожен вид допомоги вимагає різних форм звітності.

Іншим прикладом багаторівневої багатозв'язної системи може слугувати геоінформаційний кадастр водних ресурсів. Для забезпечення зручного доступу населення до даних про водні об'єкти часто використовують програмно-інформаційне забезпечення з використанням геоінформаційних технологій, які є одним зі способів формалізації та подання екологічної інформації [26-33]. Для відображення подібних даних зазвичай розробляються підсистеми

автоматизованої підготовки даних геоінформаційного кадастру водних об'єктів для представлення їх в аналітичній вебсистемі. У таких системах містяться наступні дані про водні об'єкти: район; ОТГ; сільська, селищна, міська рада; населений пункт; тип водного об'єкта; топонімічна назва (місцева назва) водного об'єкта (за наявності); кадастровий номер земельної ділянки; площа земельної ділянки, га; площа водного дзеркала при НІПР, га; стан водного об'єкта: задовільний, висох, заболочений, болото; статус водного об'єкта; розпорядження голови облдержадміністрації; орендодавець; повне найменування користувача (орендаря); строк дії договору оренди діє з; строк дії договору оренди діє до. Як видно з даного переліку, подібні інформаційні системи мають виражену багаторівневу та багатозв'язну структуру: певні водні об'єкти можуть бути розташовані на території кількох рад, районів, земельних ділянок, а також може орендуватися кількома орендаторами одночасно. В даних системах, за рахунок оптимізації процесу введення даних, можна прискорити процес наповнення даними геоінформаційної системи.

Розглянувши ці задачі, можна зробити висновок, що є актуальним розроблення універсальної технології, яка буде вирішувати задачу оптимізації параметрів подібних систем без прив'язки до предметних областей.

В наступному підрозділі розглянуто та проаналізовано сучасні методи та підходи до оптимізації параметрів та взаємозв'язків у багаторівневих багатозв'язних системах з невизначеністю.

1.2. Огляд та аналіз існуючих методів та підходів до оптимізації параметрів та взаємозв'язків у багаторівневих системах

В цьому підрозділі розглянуто та проаналізовано сучасні методи та підходи до оптимізації параметрів та взаємозв'язків у багаторівневих системах різних предметних областях: макетуванні графічних об'єктів, проектуванні структурно-логічних схем та аналітичних вебсистем.

1.2.1. Огляд та аналіз існуючих методів та підходів до оптимізації макетування графічних об'єктів

В усьому світі багато дослідників тривалий час досліджують проблему макетування графічних об'єктів як багаторівневих систем, що містить графічні та текстові елементи [34–36]. Їхня увага зосереджена, перш за все, на формуванні загальних рекомендацій макетування, на формуванні шаблонів (патернів), визнаних експертами, на формулюванні загальних принципів та правил макетування. Для характеристики якості графічних об'єктів, як правило, використовується кількість вподобань на сайтах-агрегаторах (п. 1.1), де експерти збирають найкращі, як на їх думку, графічні об'єкти, та зареєстровані користувачі можуть оцінювати їх. Відповідно, графічні об'єкти з найбільшою кількістю вподобань можна вважати якіснішими, ніж інші, які там розташовані приблизно такий самий час. Традиційний критерій «Кількість вподобань» є адекватним для порівняння якості декількох графічних об'єктів лише за умови, якщо ці графічні об'єкти були опубліковані одночасно, і переглядалися та оцінювалися за один і той самий час однаковими людьми. Як альтернатива можна використовувати відношення кількості вподобань до кількості переглядів. Подібний показник більше відповідає узагальненій оцінці якості, за умови, якщо час публікації триває більше деякої кількості днів, що визначаються для кожного сайту-агрегатору впродовж яких нові роботи просуваються алгоритмами і показуються кінцевим користувачам. Причому чим більше час публікації та кількість переглядів, тим точнішою є ця оцінка, за умови, якщо не були використані засоби штучного збільшення кількості вподобань з використанням інструментів таргетованої реклами чи сторонніх програм. Задача макетування афіші ускладнюється тим, що часто замовник одразу вносить якісь вимоги щодо афіші або фонові рисунки чи фото, які планується використати, вносять обмеження на варіанти розташування тексту біля них. Отже, ця задача є задачею з обмеженнями.

Проведено аналіз джерел щодо основних ознак (параметрів) макета афіші, які вважаються такими, що впливають на їх якість. Результат наведено у табл. 1.1.

Також, у цій таблиці наведено ознаки, які пропонують автори, враховуючи свій багаторічний досвід у цій сфері.

Характеристики з таблиці 1.1 можна розподілити на 2 класи:

1. Ті характеристики, що оцінюють лише кінцевий продукт — готову афішу — ці параметри не можуть бути початковими умовами для макетування;
2. Ті характеристики, які можуть бути початковими умовами — саме ці характеристики були вибрані для набору даних.

Табл. 1.1. Характеристики оцінки макета

№	Назва характеристики	Effective Poster Design [37]	Theory of poster design and presentation [38]	Elements of Poster Design [39]	Авторські
1	Вибір кольорової схеми	+			+
2	Зображення	+			+
3	Повнота інформації (Ясність)	+	+	+	
4	Відповідність	+	+	+	+
5	Стислість	+			
6	Привабливість	+			
7	Розбірливість	+	+	+	
8	Якість зображень		+		
9	Додаткові дизайн-елементи		+		+
10	Структурність			+	
11	Наявність головної точки звернення уваги			+	+
12	Виділення головного повідомлення			+	
13	Збалансованість елементів				+
14	Поєднання шрифтів				+
15	Наявність контрасту				+
16	Якість вихідного зображення				+

Вибір кольорової схеми. Вибір основних кольорів афіші. Є декілька варіантів: афіша може бути із застосуванням одного кольору, частіше за все чорний, або градації сірого. Є афіші, в яких один головний колір, також є варіанти поєднання двох або більше кольорів. Використання більше 3-х кольорів недоцільне [40].

Зображення. Візуальні образи, що дають інформацію про захід. Це можуть бути фотографії, рисунки, векторна графіка, абстрактні патерни, символи для супроводження тексту.

Повнота інформації (Ясність). Повне розуміння всіх наявних елементів афіші. Для афіш обов'язково мати інформацію про назву, її дату та час, місце та адресу події.

Відповідність. Відповідність кожного елемента дизайну афіші до завдання щодо неї. Важливо, щоб кожен елемент відповідав характеру події та цільовій аудиторії, на яку орієнтована подія [41].

Стислість. Відсутність надлишкової інформації. На афішах недоцільно розміщати детальний опис кожної складової події. Для цього використовують посилання на інтернет-ресурс з довідковою інформацією.

Привабливість. Візуальна естетика афіші.

Розбірливість. Здатність тексту бути прочитаним у складних умовах: поганий зір, велика дистанція.

Якість зображень. Якість застосованих зображень. Розмір, кількість пікселів на дюйм. Візуальна чіткість зображення. Налаштований для друку вибір кольорів.

Додаткові дизайн-елементи. Прикрашення афіші, елементи, що підсилюють повідомлення.

Структурність. Впорядковане розташування, де пов'язані між собою елементи візуально згруповані.

Наявність головної точки звернення уваги. Це — один елемент афіші, що привертає увагу глядача та дає йому інтерес до детального вивчення змісту афіші.

Виділення головного повідомлення. Наявність елементів або способів виділення головного повідомлення. Це може бути виділення за допомогою кольору, фігур, типу та нарису шрифту тощо.

Збалансованість елементів. Розташування об'єктів, коли жодна сторона афіші не містить візуально більшу частину елементів.

Поєднання шрифтів. Гармонійність поєднання різних шрифтів в одному блоці та в афіші в цілому. Доцільно використовувати на афішах не більше 4-х шрифтів [42].

Наявність контрасту. Наявність головних та другорядних елементів.

Якість вихідного файлу макета. Оцінка якості файлу, що подається до друку. Для якісного макета доцільно використовувати векторні формати файлів з кольоровим профілем СМУК з роздільною здатністю вище 150 точок на дюйм.

Ці початкові характеристики можна побачити у таблиці 1.2.

Табл. 1.2. Початкові характеристики

№	Назва характеристики	Effective Poster Design [8]	Elements of Poster Design [5]
1	Компонування	+	
2	Розмір кегля	+	+
3	Форматування	+	
4	Використання простору	+	
5	Тип шрифту	+	
6	Нарис шрифту	+	

Також цікавим напрямком досліджень у сфері оцінювання якості розроблених графічних об'єктів є технології відстеження траєкторії руху очей. Дослідниками розроблені різні алгоритми та методи для автоматичного відстеження положення та напрямку погляду, які спеціалізуються для різних особливостей поставленої задачі. Слід зазначити, що кількість досліджень щодо відстеження траєкторії руху очей зростає завдяки здатності таких технологій полегшувати багато різних завдань, особливо в контексті створення графічних об'єктів розрахованих на літніх людей, або ж з особливостями зору. Технології відстеження траєкторії погляду стають все більше популярними серед науковців (рис. 1.12). В платформі Google Scholar до 2010 року було 172 500 статей з ключовим словом «eye-tracking». З 2010 року по 2020 рік на платформу було завантажено понад 344 300 статей з тим же ключовим словом, це майже вдвічі більше, ніж за попередні роки.

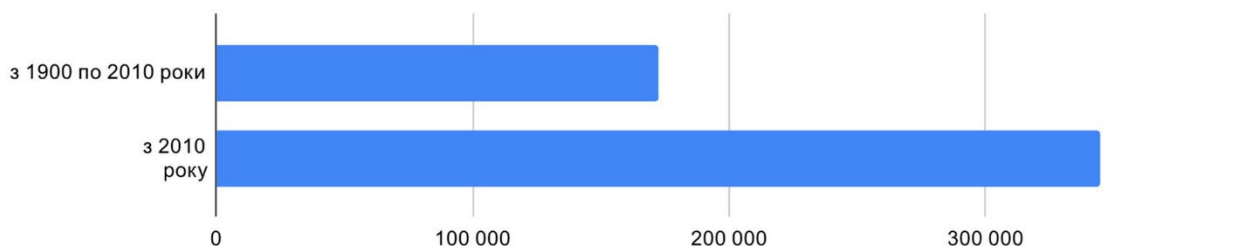


Рис. 1.12. Кількість статей з ключовим словом «eye-tracking» на платформі Google Scholar по рокам

Технології відстеження траєкторії руху очей сьогодні застосовуються у різних галузях та сферах. Технології відстеження траєкторії руху очей дають можливість науковцям досліджувати широкий спектр галузей: спорт, психологія, візуальна увага, маркетинг, дослідження доступності, взаємодія людини з комп'ютером. Дослідження технології охоплюють наступні сфери застосування: вплив фовеальних і парафовеальних масок на рух очей старших і молодших читачів [43]; вікові відмінності під час візуального пошуку: роль контекстних очікувань та механізмів когнітивного контролю [44]; вікові відмінності в неглибокій семантичній обробці тексту [45]; вплив інтервалу між словами на рух очей молодих і старших читачів [46]; кількісне оцінювання вікових відмінностей у поведінці обробки інформації під час перегляду етикеток ліків, що відпускаються за рецептом [47]; виявлення фіксацій і саккад у протоколах відстеження очей [48]. Цікавим напрямком досліджень руху ока та способом відстеження траєкторії руху ока є відстеження руху без використання камери. За допомогою преображення сигналів МРТ з очних яблук. DeepMReye — згортова нейронна мережа, яка дозволяє декодувати позицію погляду з МРТ-сигналів. Приклад одного декодованої траєкторії наведено на рисунку 1.13 [49].

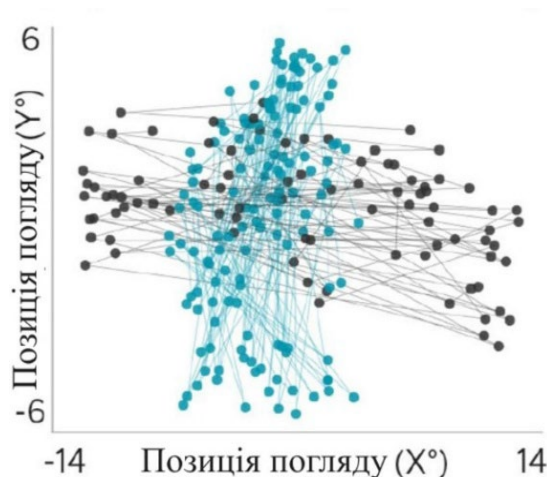


Рис. 1.13. Результат декодування МРТ-сигналів в траєкторію руху ока: учасника дослідження попросили із закритими очима рухати їх двома способами: вгору-вниз (блакитний колір) та вліво-вправо (чорний) [49]

Методи відстеження руху очей може знадобитися для глибших дослідження у сфері уваги та слугувати джерелом великих даних для оцінювання якості макетованого графічного об'єкта: на які текстові чи графічні об'єкти привертання різними текстовими та графічними елементами уваги та аналізу переміщення погляду від одного елемента об'єкта до іншого.

На рисунку 1.14 зображений приклад відстеження руху обличчя та очей з використанням сучасних програмних засобів.



Рис. 1.14. Приклад відстеження руху обличчя та очей з використанням javascript-бібліотеки

Подібні дослідження цікаві тим, що вони дозволяють виконувати дослідження без участі людини на даних, які були виміряні раніше. Це дозволяє розширити межі досліджень на основі відстеження руху ока людини. Хоча дослідження уваги у простих графічних об'єктах як афіши має вже відомі патерни оптимізації, наприклад наявність яскравого візуального об'єкту на макеті привертає увагу до його текстових елементів [8].

Із розвитком дифузійних моделей та великих мовних моделей, ці технології також стали використовуватись для генерування макетів. Прикладом досліджень в цій сфері є роботи Li F., Liu A. [50], Chai S., Zhuang L. [51] та Li Y., Chen J. [52]. Приклад згенерованого макету на основі GAN зображено на рисунку 1.15.



Рис. 1.15. Згенерований шаблон для макетування на основі зображення та використання CGL-GAN [50]

Наявні генеративні підходи до макетування постерів зосереджені переважно на однорівневих представленнях макетів графічних об'єктів та охоплюють лише візуальні сценах, але не враховують багаторівневості та багатозв'язності цих системи, не містять залежності параметрів елементів макету

та його мети, а саме показника залученості та намагаються вирішувати стандартні для дифузійних моделей проблеми.

1.2.2. Огляд та аналіз існуючих методів та підходів до оптимізації проєктування структурно-логічних схем освітніх програм

Процес проєктування структурно-логічних схем досліджується багатьма дослідниками. Серед них: Шпинковський О.О., Плахтій Н.В., Бармак О. В.

В дослідженні [53] Шпинковський О.О. проаналізовано більше 100 структурно-логічних схем освітніх програм та виявлено, що більшість з них мають табличне представлення. Автор пропонує використовувати графічно-матричне подання структурно-логічних схем, що на думку автора може дозволити будувати освітні програми на основі не лише освітніх компонентів, але і враховуючи необхідний компетентностний базис. Це дослідження не пропонує підходів до вирішення задачі впорядкування, яке б враховувало багаторівневу структуру освітньої програми.

Плахтій Н.В. у дослідженні [54] пропонує для вирішення задачі впорядкування структурно-логічних схем використання генетичного алгоритму, його підхід переважно не враховує багаторівневість освітніх програм, а оптимізація зводиться до балансу ECTS і формального дотримання пререквізитів, тоді як не враховуються ані темпоральні взаємовідношення навчального контенту, ані семантичні залежності між матеріалами освітніх компонент.

Дослідження [55] підкреслює важливість задачі виокремлення ключових слів та пропонує технологію вилучення ключових слів з матеріалів навчальних дисциплін. Запропонована технологія не пропонує об'єднання ключових слів по ключовим поняттям. Наприклад, два різних ключових слова "програмний продукт", "програмне забезпечення" є одним ключовим поняттям, що представляється в різних освітніх компонентах. Також ця технологія не дозволяє вилучати пов'язані дієслова та слова-процеси ("проєктування", "розроблення",

"впровадження" тощо), що є важливими для задачі впорядкування структурно-логічних схем освітніх програм.

Однією із підзадач оптимізації структурно-логічних схем освітніх програм може бути вилучення термінів, чи їх визначень із контексту, що в сучасну епоху величезного цифрового контенту має особливе значення для завдань мовної обробки. Для подібного роду задач зазвичай використовують передові методи обробки природної мови (Natural Language Processing, NLP) [56-65].

Можливості популярних бібліотек NLP, таких як SpaCy та NLTK, а також потужної моделі BERT, бібліотеки bert-extractive-summarize та SpaCy надають можливість робити лінгвістичні анотації, токенизацію та синтаксичний аналіз залежностей та інші функції (рис. 1.16).

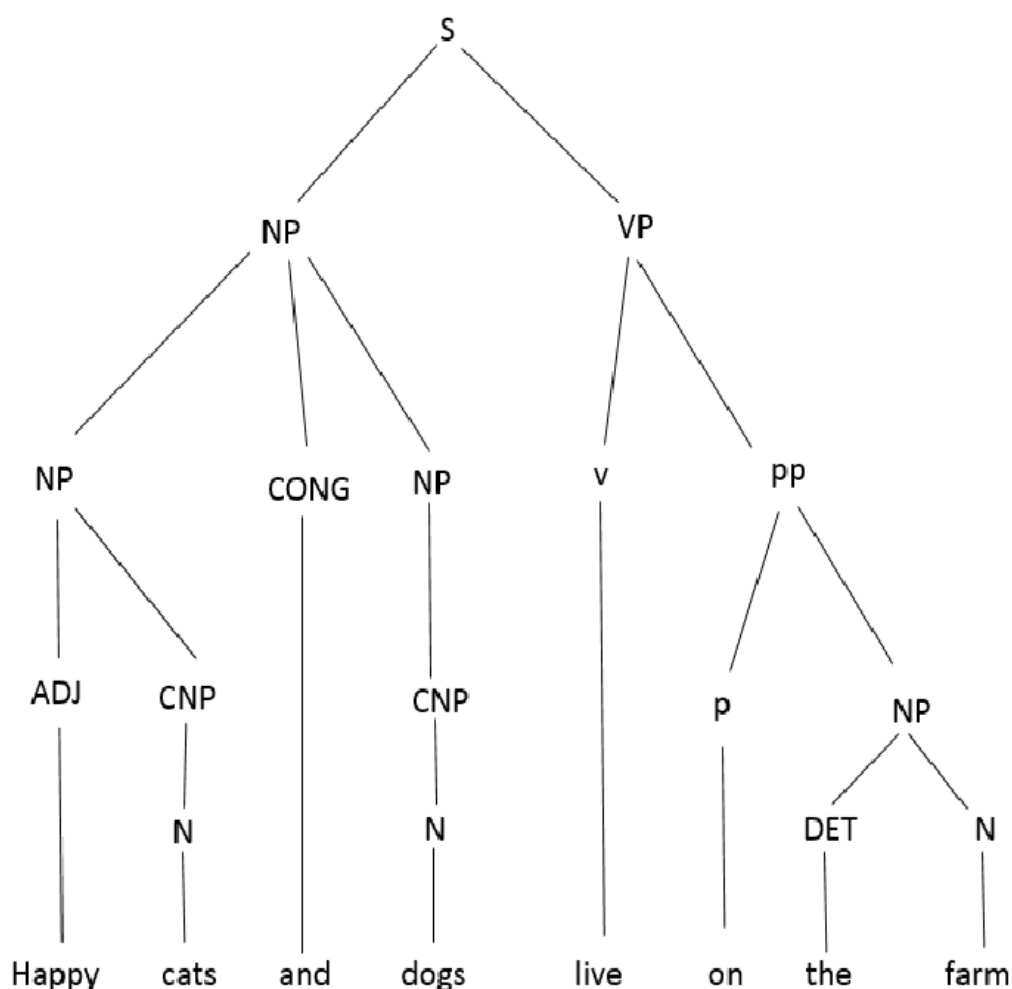


Рис. 1.16. Приклад синтаксичного аналізу з використанням NLP [66]

Bert-extractive-summarizer використовує BERT, найсучаснішу мовну модель, для виявлення ключових речень. Ці технології дозволяють ідентифікувати контекстно-релевантні речення, допомагаючи витягувати визначення слів. Для цього завдання можна було б розглянути альтернативні технології, такі як WordNet. NLTK пропонує інструменти для різних завдань NLP, тоді як WordNet надає визначення і семантичні зв'язки між словами. Попередньо навчені мовні моделі, такі як GPT і RoBERTa, також можуть бути використані для вилучення визначень на основі контексту. Використання можливостей SpaCy, bert-extractive-summarizer та BERT у поєднанні представляється як можливе рішення задачі вилучення визначень слів з їхнього контексту.

В сучасних дослідженнях щодо впорядкування текстової інформації частіше за все вирішується задача вилучення часових міток з тексту та їх прив'язка до часової осі, що дозволяє до певної межі відновлювати хронологію подій. Класифікація темпоральних фраз у природномовних текстах є ключовим компонентом для аналізу даних. Для розв'язання подібних задач в дослідженнях використовують зокрема метод дистиляції знань відіграє ключову роль у покращенні ефективності та швидкості обробки даних у дослідженнях обробки природної мови, спрямований на зменшення вуглецевого сліду [67]. Систематичне дослідження методів дистиляції показує, як різні компоненти впливають на результати, виявляючи ключові фактори для оптимізації [68]. Досвід створення DistilBERT демонструє можливість зменшення розміру моделі BERT без значної втрати її можливостей, що відкриває шлях для ширшого застосування моделей у обмежених обчислювальних умовах [69, 70]. За схожим підходом можна реалізувати навчання нейромережі використовуючи великі мовні моделі для генерування наборів даних для навчання класифікаційних моделей штучного інтелекту, що ймовірно може показати хороші результати за умови великих обсягів та збалансованості згенерованих даних [71-74].

Також застосування великих мовних моделей та технологій обробки природної мови в освітній сфері є популярними напрямками досліджень. За останні роки дослідники вивчали кілька способів використання таких моделей,

зокрема для удосконалення навчальних програм, інтелектуального аналізу контенту, персоналізованого навчання та іншого. Повторюваною темою в літературі є зростаюча інтеграція LLM для підтримки освітніх цілей [75-77]. Наприклад, дослідники наголошують, що LLM можуть допомогти у створенні освітнього змісту, підвищити залученість студентів та персоналізувати навчальний досвід — хоча ці переваги балансуються потенційними недоліками, такими як крижкість моделі [75]. Існує консенсус, що для ефективного використання LLM освітяни повинні застосовувати стратегії перевірки вихідних даних моделі, керування процесом навчання та забезпечення відповідності цілям навчальної програми [75, 76].

У зв'язку з цим, деякі дослідники вивчають системи автоматичного генерування вікторин та запитань. Їхньою метою є підвищення залученості студентів та адаптація навчального контенту до їх здібностей [78]. Тим часом, навчання з підкріпленням було використане для вдосконалення моделей генерування опитувань, зменшуючи ризик погано структурованих запитань [77].

Інші дослідження демонструють можливості використання LLM для проєктування навчання. Наприклад, автоматичне створення повних навчальних планів, як це демонструють фреймворки на основі GPT-4 [79], або розроблення студентських планів для адаптивної підтримки в контекстах навчання на основі ігор [78], підкреслюють можливість систематичного охоплення структури та логіки освітніх компонентів. Графові подання знань, такі як ті, що запропоновані для персоналізації навчальних шляхів [80], також наголошують на важливості ідентифікації понять та процесів, які можуть бути пізніше відображені або послідовно розташовані відповідно до педагогічної логіки.

Також в декількох дослідженнях підтверджена доцільність використання сучасних інструментів NLP для ідентифікації ключових понять та відповідних дій [81], підходах до передачі знань без навчання на нових даних [82, 83] та спеціалізованих для галузі застосунках NLI (Natural Language Inference) [84]. Ці дослідження демонструють корисні підходи до видобування термінології та відповідних процесів.

Синтезуючи ці напрямки досліджень — від адаптації великих мовних моделей, генерування запитань, редагування знань, персоналізації до методів навчання за навчальними програмами — посилюється ідея, що автоматизована система дійсно може ідентифікувати, класифікувати та послідовно розташовувати ключові поняття у численних навчальних програмах. Успіх такої системи залежить від надійних конвеєрів оброблення природної мови, що включає складну інженерію запитів, точного визначення дієслів для кожного етапу життєвого циклу та підходу до класифікації або ранжування, що розташовує кожен освітній компонент у правильній частині освітньої траєкторії.

Також слід зазначити, що в науковій літературі щодо вирішення задачі впорядкування текстових елементів вже існує усталена термінологія та класичні підходи, які ставлять на меті виявлення часових міток, та визначенню часових відношень між подіями (рис. 1.17).

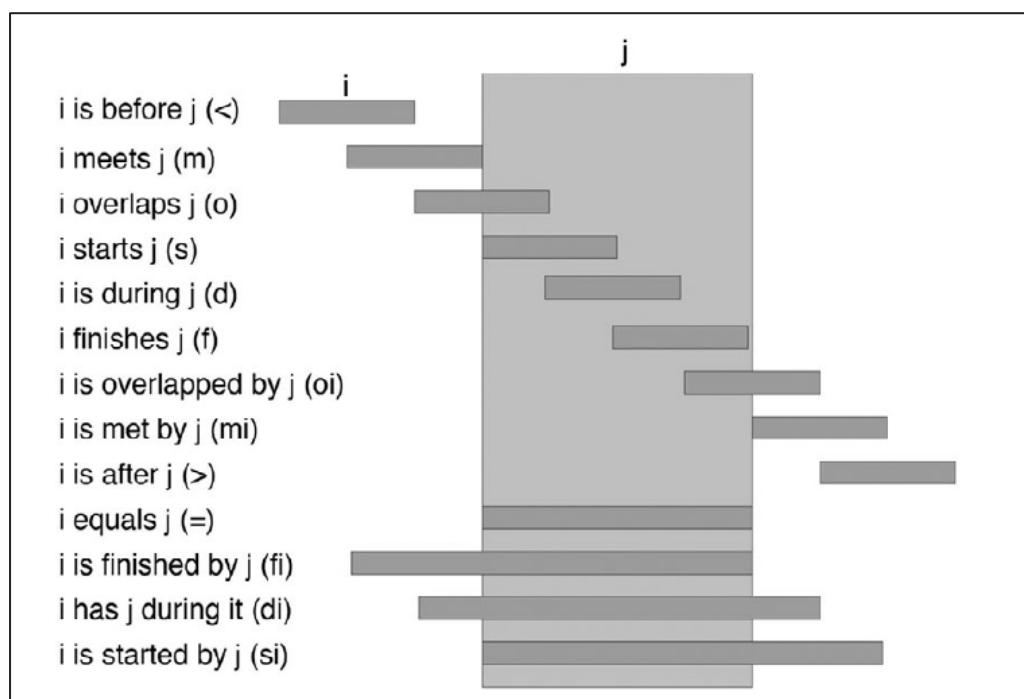


Рис. 1.17. Види часових відношень між подіями за Аленом Джеймсом (1984) [85]

Темпоральних відношення (наприклад, «до», «після», «під час») визначають логічні або хронологічні зв'язки між подіями чи часовими виразами. Традиційне темпоральне впорядкування (temporal ordering) передбачає чітку хронологічну послідовність подій, засновану на часових маркерах або контексті.

Концепція «темпоральної прив'язки» (temporal anchoring) зосереджується на присвоєнні подіям абсолютних часових позначень. Темпоральне міркування (temporal reasoning) включає процеси логічного виведення темпоральних зв'язків на основі попередньо заданих даних. Існуючі підходи до темпорального аналізу та метрики, які використовуються в таких моделях як TempEval та T-BERT, не дозволяють оцінювати відносний порядок подій на основі статистичних даних, при умові відсутності явних часових маркерів [86-91].

Загалом, література підтверджує, що методи аналізу тексту на основі LLM, у поєднанні з передовими інструментами NLP та спеціалізованими знаннями галузі, можуть ефективно підтримувати проєктування та постійне вдосконалення освітніх програм. Інтегруючи встановлені техніки, такі як частотний аналіз, інженерія запитів, стає можливим розробити інтелектуальну технологію, яка може пропонувати рекомендації щодо оптимізації структурно-логічних схем задля підвищення їхньої темпорального узгодження.

Важливо упорядковувати не стільки освітні компоненти освітніх програм в цілому, скільки — їх ключові теми, присвячені викладенню ключових понять. Особливістю такого упорядкування є те, що їх важливо упорядкувати не хронологічно — відносно конкретної часової осі (навіть, по семестрах — це, скоріше, задача гаранта та групи забезпечення, а — темпорально, тобто з'ясувати їх відносний порядок: який компонент передує іншому, а який — має викладатись після нього.

Звідси виникає потреба розробити автоматизовані технології аналізу змісту освітніх компонентів (ОК): силабусів і робочих програм дисциплін. Такий аналіз має ґрунтуватися на пошуку ключових слів і словосполучень (передусім, іменників із прикметниками), а також на їхньому поєднанні з типовими дієсловами, що вказують на конкретний тип дій у межах життєвого циклу: від “огляду й вивчення принципів” через “розроблення і створення” до “випробування та впровадження”. Результати такого аналізу дають змогу виявити, як саме в кожній дисципліні описано певний “етап” або “фазу” життєвого циклу розроблення програмного чи технічного продукту.

Подібний підхід дає змогу формувати рекомендації щодо узгодженості дисциплін за часовою віссю (ранжування тем, зв'язки між спорідненими поняттями). Це допоможе гарантувати, що студенти зможуть отримати потрібні базові знання (наприклад, “принципи програмування”) до початку курсу, де безпосередньо реалізуються “методи розроблення й впровадження програмного коду”. У контексті наукових і практичних завдань результати такого дослідження можуть стати основою для:

- модернізації навчальних планів, їхнього періодичного оновлення й вдосконалення відповідно до сучасних вимог ІТ-ринку;
- розроблення програмного інструменту, що допомагатиме викладачам і гарантам освітніх програм бачити міждисциплінарні зв'язки та впорядковувати навчальний контент;
- формування нових, більш обґрунтованих в науково-методичному плані підходів до укладання програм і силабусів.

Таким чином, проблема, в загальному вигляді, полягає у створенні інтелектуальної технології, що об'єднує засоби оброблення тексту природною мовою, а також — алгоритмічні процедури виявлення й класифікації ключових слів (іменників з прикметниками) та дієслів, які відображають певний етап навчання або стадію життєвого циклу. Важливо використати сучасні методи і підходи оброблення природномовного тексту (англ. “NLP”) з використанням великих мовних моделей (англ. “LLM”) та інші методи аналізу текстів. Практичне значення цієї технології полягає в тому, що автоматизований аналіз навчальних програм дозволяє підвищити узгодженість дисциплін (обов'язкових освітніх компонентів), оптимізувати їхній зміст та сприяє ефективнішому формуванню у студентів спеціальних компетентностей.

1.2.3. Огляд та аналіз існуючих методів та підходів до оптимізації проєктування аналітичних вебсистем

У процесі проєктування аналітичних вебсистем для агрегування даних у часі чи за семантикою з подальшим їхнім обробленням існують готові рішення (спеціальні функції усереднення даних з заданою частотою: хвилина, година, доба, тиждень, рік тощо, агрегування семантичних даних з використанням онтологічної моделі та спеціальних словників [23]), то агрегування та оброблення даних на різних просторових рівнях потребує використання моделей різної деталізації, тобто з різними складовими, потребує різних даних та методів їхнього отримання.

Зазвичай, для таких задач проєктують окремі математичні та інформаційні моделі і забезпечують їх даними. Але тут вступають у протиріччя дві вимоги: повнота забезпечення кожної такої моделі всією необхідною інформацією із заданим агрегуванням та просторовою прив'язкою, а з іншого боку — відсутність надлишковості інформації та намагання зберегти усе в єдиній базі даних. Деякі дані (наприклад, метеорологічні) можуть одночасно використовуватись у моделях різного масштабу, а деякі (приміром, площа чи кількість населення) для кожного рівня масштабу у просторі — відрізнятимуться.

Важливо, при цьому, точно знати, що кожна модель достатньо повно забезпечена даними або розрахунковими співвідношеннями для їхнього обчислення з інших даних у різних комбінаціях запитів.

Відповідь на питання достатності даних може дати критерій повноти топологічної спостережуваності. Як відомо, для складних систем, модель яких можна представити у вигляді графа зв'язків (зв'язків у розумінні залежностей, функцій чи алгоритмів перетворення одних даних на інші) між змінними, існує поняття топологічної спостережуваності, якою є сукупність умов, що забезпечують отримання інформації з урахуванням вхідних параметрів, про значення поточних параметрів режиму системи або забезпечують достатність інформації про поточний стан для синтезу закону керування ним [92]—[95]. У

нашому випадку, цей критерій якраз можна використати для перевірки достатності забезпечення усіх інформаційних моделей системи на кожному рівні масштабу у просторі даними, достатніми для визначення поточного стану системи, які саме і потрібні для формування аналітичних даних та даних, необхідних для прийняття рішень управління системою. Важливим аспектом цього критерію є те, що існує математичний та алгоритмічний апарат оптимізації повноти топологічної спостережуваності системи, який дозволяє визначити які саме залежності чи дані ще необхідні для отримання повністю спостережуваної моделі [92], [93].

Отже, доречним є розроблення методу оптимізації інформаційних моделей аналітичних вебсистем за критерієм повноти їхньої топологічної спостережуваності та з урахуванням типових вимог до вебсистем, зокрема щодо усунення надлишковості інформації в їхніх базах даних.

1.2.4. Огляд та аналіз існуючих методів та підходів до оптимізації багаторівневих систем з інших предметних областей

У предметній області обліку надання гуманітарної допомоги оптимізація подібного роду вебсистем, завдяки включенню динамічних форм внесення даних, ймовірно може покращити ефективність роботи. У подібній системі реєстрації має бути можливість генерування форм внесення даних, що підлаштовується під конкретний контекст: кількість ресурсів чи необхідні звітні дані (рис. 1.18). Також для оптимізації швидкості роботи в проєктованій вебсистемі може бути спроектована необхідність введення конкретних даних конкретної людини виключно один раз. У разі повторної необхідності застосування даних, вони мають підключатися з бази даних.

Вид допомоги:
Матраци від ГО «...» ▼

Необхідні дані для звітності:

- ПІБ
- Місто, звідки виїхали
- Дата отримання допомоги

ПІБ

Місто, звідки виїхали

Дата отримання допомоги

Вид допомоги:
Засоби гігієни від ТОВ «...» ▼

Необхідні дані для звітності:

- ПІБ

ПІБ

а)
б)

Рис. 1.18. Приклад гнучкої форми реєстрації допомоги:

- а) приклад з трьома полями внесення даних;
- б) приклад з одним полем введення

У простому рішенні така база виглядає як таблиця, в якій кожен запис — одна ВПО. А поля таблиці — це особиста інформація та одне поле з хеш-тегами наданої допомоги (рис. 1.19).

ІД	ПІБ	Номер	...	Поле	Надана допомога
00001	Іванов Іван Іванович	012 543 6789	...	(значення)	#1,#2,#3
00002	Петров Петро Петрович	—	...	(значення)	#1,#3
00003	—	012 354 6789	...	(значення)	#3
00004	Білецький Богдан Сергійович	021 453 9867	...	(значення)	#2,#3
...
99999	(Прізвище, Ім'я та по-Батькові)	000 000 0000	...	(значення)	(хеш-теги)

Рис. 1.19. Приклад таблиці обліку ВПО для гнучкої системи обліку

Робота з реєстрації надання допомоги може здійснюватися за таким алгоритмом: а) отримання переліку звітних даних; б) створення форми; в) заповнення форми реєстрації; г) завершення роботи з формою. За умови закінчення партнерства/ресурсу — видалити форму з системи.

Для геоінформаційної системи дослідники, зазвичай, пропонують проектування та розроблення спеціалізованих модулів введення інформації, які б

забезпечували систему можливістю введення даних через спеціалізовані форми, задля їх часткового та повного перенесення до геоінформаційної системи за допомогою алгоритмів, що налаштовані для дії з різними типами даних (семантиками).

1.3. Висновки до розділу та постановка задач дослідження

У першому розділі проаналізовано проблеми оптимізації параметрів та взаємозв'язків у багаторівневих системах. Проаналізовано три предметні області: макетування графічних об'єктів, охарактеризовано основні проблеми оптимізації параметрів та взаємозв'язків у багаторівневих системах. Проаналізовано процес макетування графічних об'єктів. Виявлено вхідні дані макетування, вихідні формати та критерії оцінки результату макетування. Виявлено наявні технічні, стильові та бізнес обмеження цього процесу. Виявлено шаблони макетування, основні платформи публікації результатів макетування – сайти-агрегатори. Виявлено основну задачу та основні проблеми проектування структурно-логічних схем. Виявлено сучасні вимоги до багаторівневих аналітичних вебсистем, а саме необхідність забезпечення виконання довільних запитів користувачів аналітичної вебсистеми, шляхом проектування інформаційної моделі системи, яка б дозволила отримувати інформацію з різним рівнем агрегації у часі, просторі чи семантиці.

Проаналізовано характеристики досліджуваного класу систем. Виявлено ознаки багаторівневої багатозв'язної структури графічних об'єктів, освітніх програм та аналітичних вебсистем. Якість функціонування багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю оцінюється різними, але формально описуваними критеріями: коефіцієнтом залученості (графічні об'єкти), показником темпоральної впорядкованості (освітні програми) та повнотою топологічної спостережуваності (аналітичні вебсистеми). Виявлено, що подібні системи також містять невизначеності, які слід усувати шляхом максимізації цих критеріїв якості. Швидкість проектування й оновлення зазначених систем

знижується через великі обсяги даних, наявність множинних обмежень та необхідність ручного узгодження компонентів.

Проведено огляд прикладів багаторівневих багатозв'язних систем в інших предметних областях, зокрема проєктування системи реєстрації гуманітарної допомоги та ведення інформаційної системи кадастру водних ресурсів. Підтверджено актуальність розвитку подібних досліджень та необхідності розроблення універсальної технології, яка буде вирішувати задачу оптимізації параметрів подібних систем без прив'язки до предметних областей.

Оглянуто та проаналізовано існуючі методи та підходи до оптимізації макетування графічних об'єктів. Розглянуто основні критерії оцінки якості графічного об'єкту, серед яких відношення кількості вподобань до кількості переглядів – є найточнішим. Проведено аналіз джерел щодо основних ознак (параметрів) макета графічного об'єкта, що впливають на їх якість. Розглянуто метод відстеження траєкторії руху очей, які можуть бути використані для збору додаткових даних для оцінки якості графічних об'єктів.

Оглянуто та проаналізовано існуючі методи та підходи до оптимізації проєктування структурно-логічних схем освітніх програм. Оглянуто дослідження задачі проєктування структурно-логічних схем. Ці дослідження пропонують певні форми представлення структурно-логічних схем, застосування генетичних алгоритмів, підкреслюють важливість виокремлення ключових слів. Вони здебільшого не враховують багаторівневості освітніх програм, темпоральне співвідношення та семантичні зв'язки між матеріалами освітніх компонент. Виявлено доцільність використання передових методів обробки природної мови та застосуванню великих мовних моделей, як для генерування навчальних наборів даних та у виконанні проміжних етапів процесу впорядкування освітніх програм. Оглянуто сучасні підходи до впорядкування та виявлено недостатність сучасної термінології для опису темпорального співвідношення між текстами, що не містять явних часових міток.

Оглянуто та проаналізовано існуючі методи та підходи до оптимізації проєктування аналітичних вебсистем. Стандартні методи проєктування

масштабованих аналітичних систем будуються на тому, що для кожного з рівнів використовуються окремі математичні моделі, дані в яких збираються окремо, що призводить до надлишковості інформації у системі та проблем в організації об'єднаних систем пов'язаних з узгодженістю. Запропоновано використання критерію повноти топологічної спостережуваності, що передбачає представлення математичної моделі у вигляді графа зв'язків та його оптимізації задля забезпечення достатньої інформації про поточний стан системи.

Оглянуто та проаналізовано існуючі методи та підходи до оптимізації багаторівневих систем з інших областей. Існуючі вирішення практичних задач демонструють хороші результати використання гнучких форм введення даних у багаторівневі багатозв'язні системи, що допомагає уникати дублювання даних та прискорення використання цих систем, за рахунок уникнення подвійного введення. Також розглянуто практичний досвід у створенні програмного забезпечення, що дозволяє пов'язати декілька рівнів внесення даних в геоінформаційну систему кадастру водних ресурсів. Розглянуті методи підтверджують актуальність технології оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів багаторівневих систем з невизначеністю, яка б дозволила збільшити якість цих систем та пришвидшило їх проектування.

Аналіз літератури і існуючих підходів показав фрагментарність розв'язань: дослідники зосереджуються або на окремих аспектах (наприклад, шаблони макетування, верифікація даних), або на локальних евристичних, що не масштабуються на інші предметні області. Такими дослідженнями займається велика кількість вчених у майже усіх країнах світу, але досі не мали універсального розв'язку задачі оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів з урахуванням заданих обмежень з метою максимізації якості цих об'єктів, прикладами яких є залученість глядачів, темпоральне впорядкування текстових елементів для пришвидшення процесу проектування схем багаторівневих систем, а також збільшення повноти топологічної спостережуваності за рахунок зміни структури математичної моделі інформаційної системи.

Виникає потреба у створенні інтелектуальної технології оптимізації текстових та графічних елементів складних систем, яка б урахувала їх багаторівневність, багатозв'язність, та невизначеність, яку можна було б розкрити, шляхом максимізації певного критерію, а також забезпечити збільшення швидкості їх проєктування.

Метою дослідження є збільшення швидкості проєктування та підвищення якості текстових та графічних об'єктів у багаторівневих багатозв'язних системах з невизначеністю, з урахуванням шаблонів і вимог, шляхом створення інтелектуальної інформаційної технології оптимізації параметрів цих об'єктів.

У результаті проведеного аналізу сформульовано наступні задачі дослідження задля досягнення поставленої мети:

- розробити загальну концепцію та формалізацію багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю, яка б забезпечила оптимізацію цих систем в різних предметних областях;
- розробити чи удосконалити методи оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах задля підвищення якості цих систем;
- розробити та випробувати на реальних прикладах інтелектуальну інформаційну технологію оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах, яка забезпечує збільшення швидкості проєктування та підвищення якості цих систем.

Об'єкт дослідження – процес оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах з невизначеністю.

Предмет дослідження – інтелектуальна технологія оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах з невизначеністю.

Наведені в розділі результати були висвітлені в таких роботах: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМ

2.1. Розроблення загальної концепції та мультимодального підходу до формалізації багаторівневих систем

Відповідно до поставлених у першому розділі задач, запропонуємо узагальнену постановку задачі оптимізації таких систем і методологію її розв'язання на засадах системного аналізу.

Розглянемо систему, що складається з множини рівнів L . Кожен рівень системи $L_i \in L$ містить набір елементів. Кожен елемент e_{ij} описується вектором параметрів, які разом формують сукупність усіх параметрів системи P . Параметри поділяються на визначені (задані) та невизначені U (такі, що потребують оптимізації). Позначимо множину невизначених параметрів як:

$$L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}, \quad (2.1)$$

$$E_i = \{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{im_i}\}, \quad (2.2)$$

$$P_{ij} = (p_{ij1}, p_{ij2}, \dots, p_{ijr}), \quad (2.3)$$

$$P = \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^{m_i} P_{ij}, \quad (2.4)$$

$$U = \{p \in P \mid p \text{ невизначений}\}. \quad (2.5)$$

Система підпорядковується системі обмежень (глобальним та внутрішньорівневим обмеженням C_i – для кожного рівня L_i) та містить міжрівневі зв'язки R_{ij} (для пар рівнів L_i, L_j , де $i \neq j$):

$$C_i = \{c_i^{(1)}(P_i) \leq 0, \dots, c_i^{(q_i)}(P_i) \leq 0\}; \quad (2.6)$$

$$R_{ij} = \{r_{ij}^{(1)}(P_i, P_j) \leq 0, \dots, r_{ij}^{(s_{ij})}(P_i, P_j) \leq 0\}; \quad (2.7)$$

$$C_{\text{global}} = \{c^{(1)}(P) \leq 0, \dots, c^{(t)}(P) \leq 0\}, \quad (2.8)$$

де в дужках вказано параметр, якого стосується обмеження чи зв'язок у вигляді різного роду співвідношень.

Як узагальнений критерій оптимізації розглядається критерій відповідності багаторівневої системи її основній меті (J), який в часткових випадках може бути показником залученості, темпоральної впорядкованості, топологічної спостережуваності чи ін.:

$$J(P) = \frac{H^+(P)}{H_{\text{total}}(P)}, \quad (2.9)$$

де:

$H^+(P)$ — кількість або вага “сприятливих” зв'язків чи характеристик системи, які відповідають її функціональній меті;

$H_{\text{total}}(P)$ — загальна кількість або вага усіх необхідних зв'язків чи характеристик системи.

Таким чином, узагальнена задача оптимізації має вигляд:

$$\begin{aligned} \text{Знайти:} \quad & U^* \subseteq \mathbb{R}^k, \\ \text{щоб максимізувати:} \quad & J(P) = \frac{H^+(P)}{H_{\text{total}}(P)}, \\ \text{за умов:} \quad & \begin{cases} c_i^{(q)}(P_i) \leq 0, & \forall i, q = 1, \dots, q_i, \\ r_{ij}^{(s)}(P_i, P_j) \leq 0, & \forall i \neq j, s = 1, \dots, s_{ij}, \\ c^{(t)}(P) \leq 0, & \forall t = 1, \dots, t. \end{cases} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Узагальнена формалізація задачі оптимізації параметрів текстових та графічних елементів багаторівневих багатозв'язних задач з невизначеністю (2.10) може бути адаптована для використання в різних предметних областях.

2.2. Удосконалення методу оптимізації параметрів макетування графічного об'єкта

Відповідно до поставлених у першому розділі задач, удосконалимо метод оптимізації параметрів графічних та текстових елементів в предметній області макетування графічних об'єктів.

Приклад використання загальної концепції та формалізації багаторівневої системи для задачі оптимізації текстових та графічних елементів графічного об'єкта для максимізації критерію J можна побачити в табл. 2.1.

Табл. 2.1. Формалізація багаторівневої системи для задачі оптимізації текстових та графічних елементів об'єкта, що макетується

Компонент	Макетування графічного об'єкта [1]
Рівні L (2.1)	Текстові елементи, інформаційні складові, макет графічного об'єкта
Елементи E_i (2.2)	Текстові та графічні елементи всередині блоків
Параметри P_{ij} (2.3)	Координати, колір, шрифт, кегль, відступ
Визначені параметри (2.4)	Формат, заголовок, текст інформаційних блоків
Невизначені параметри U (2.5)	Розміщення, розмір блоків, шрифти
Внутрішньорівневі обмеження C_i (2.6)	Відстані між елементами, шрифт в межах блоку
Міжрівневі зв'язки R_{ij} (2.7)	Узгодження стилів, кеглів між блоками
Загальні обмеження C_{global} (2.8)	Формат (A4 чи ін.), поля, кількість елементів
Критерій $J(P)$ (2.9)	$J(P) = \frac{l}{v}$ — прогнозоване відношення кількості вподобань до кількості переглядів

Структура побудови макета явно має багаторівневу структуру. Тестові елементи об'єднуються композиційно з графічними елементами та між собою формують інформаційні блоки, які компонуються на робочому просторі макета (рис. 2.1).

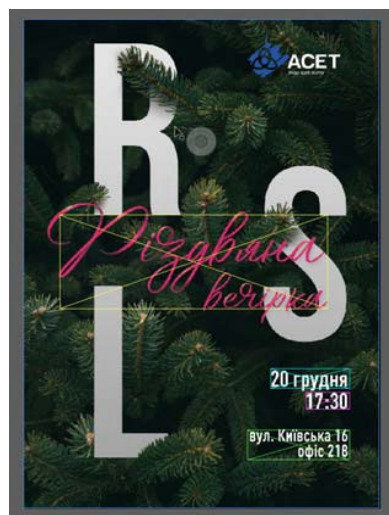


Рис. 2.1. Приклад робочого простору програми Adobe InDesign [1]

Елементами макета графічного об'єкта (на прикладі афіші) є назва події, час та місце проведення, тобто текстові елементи, графічні елементи подібної системи це візуальне зображення, що має на меті привертання уваги (найчастіше це може бути зображення головного промовця чи артиста); карта чи схема, що показують як дістатися до місця проведення події тощо.

Текстові елементи можуть мати наступні параметри: текст, товщина шрифту, тип шрифту, курсив, позиція на макетів, розміри текстового елементу, викривлення, поворот блоку, вирівнювання, розмір кегля тощо. Графічні елементи мають наступні параметри: розмір, розташування на макеті, орієнтація, тип (зображення, малюнок, фотографія, карта, скриншот тощо). Інформаційні блоки, що об'єднують між собою текстові та графічні елементи також мають параметри: ширина, довжина, розташування на макеті, внутрішні відстані між об'єктами, з яких він складається. вид композиції. Сам макет має свої параметри: розмір, призначення, орієнтація, композиційні особливості (наприклад побудова макету за правилом третин або ж за «золотим перетином тощо»). Серед них деякі параметри можуть бути визначеними, а деякі — невизначеними. Наприклад замовник може дати свої вимоги щодо розміру макета та інформації, яку він має містити. Сам дизайнер, може визначати власні стилістичні вподобання визначаючи обмеження. Інші ж параметри, можуть бути визначені за допомогою математичних залежностей, які визначають міжрівневі зв'язки та внутрішньорівневі обмеження, а інші параметри є невизначеними. Ці види невизначеності усуваються за допомогою максимізації критерію залученості глядачів.

Критерій залученості глядача для вже опублікованої в мережі графічного об'єкта може слугувати відношення кількості вподобань до кількості переглядів

$$J(P) = \frac{l}{v}. \quad (2.11)$$

Для графічного об'єкта, який тільки в процесі макетування, подібний критерій може бути прогнозованим засобами машинного навчання, що має основою динамічний набір даних, що містить наявні параметри певних елементів

графічного об'єкта та значення цільової змінної, а саме відношення кількості вподобань до кількості переглядів. Для розв'язування задачі оптимізації параметрів текстових/графічних елементів для максимізації критерію (2.11) пропонується використовувати наступний алгоритм:

1. Побудувати датасет з найбільшою кількістю ознак.
2. Здійснити розвідувальний аналіз даних (англ. — EDA) з використанням, наприклад, бібліотеки `pandas-profiling`, в якому, в першу чергу, проаналізувати кількість пропущених даних, найбільші і найменші значення, гістограму значень та кореляційну матрицю — на основі цього, розробити правила для фільтрування помилкових, пропущених та аномальних даних.
3. Використовуючи оптимізацію гіперпараметрів побудувати класифікаційне дерево рішень, яке з достатньою точністю розділить множину значень датасету на класи.
4. Застосовуючи засоби, наприклад мови Python, зробити можливість користувачеві визначати деякі характеристики власноруч.
5. Відповідно до введених даних проходить фільтрація дерева по тих характеристиках, що вказані користувачем. З дерева видаляються ті листи, на шляху до яких порушуються задані обмеження в вузлах.
6. З тих листків, які залишились, обирається один, який забезпечує найбільше значення оцінки.
7. Вивести рекомендації для дизайнера на екран. Сукупність вузлів дерева, що ведуть до цього листка, і є рекомендаціями для створення графічного об'єкта.
8. На основі визначених рекомендацій синтезувати макет графічного об'єкта, який далі можна використати як шаблон принаймні у першому наближенні з подальшим удосконаленням дизайнерами.

У спрощеному вигляді проілюструємо роботу даного алгоритму. Нехай існує датасет, в якому деяка кількість графічних об'єктів оцінена за трьома характеристиками. Наприклад характеристики заголовку X_1 — виділення

товщиною шрифту, X_2 — курсив, а X_3 — підкреслення текст, поданого цим шрифтом. Якщо на графічному об'єкті є виділення, відповідно до кожної характеристики, то її значення, відповідно 1, якщо немає — то 0. Для кожного графічного об'єкта визначаються показники l та v , а також оцінка J з (2.11). Застосовуючи класифікацію, за допомогою дерева рішень, видобуто 8 класів, що відрізняються своїми характеристиками та оцінкою (рис. 2.2).

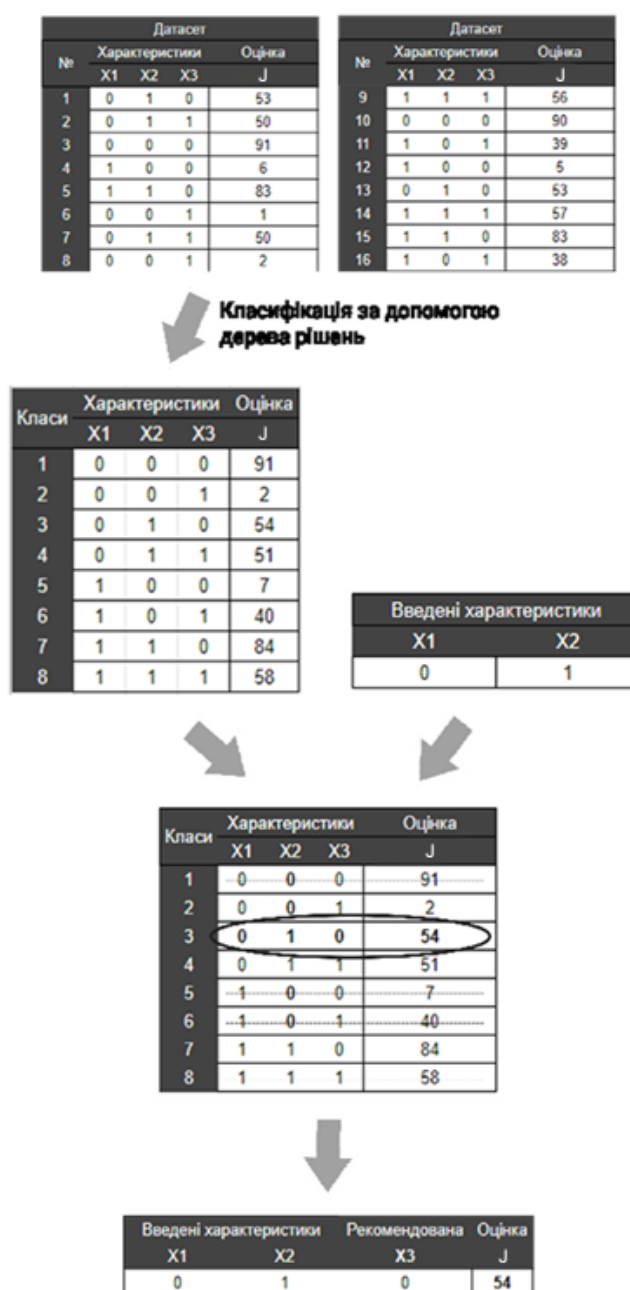


Рис. 2.2. Схематичний приклад застосування

Користувач задає значення характеристик X_1 та X_2 як обмеження. Відповідно до них, викреслюються всі класи, значення в яких точно не збігаються з цими заданими. Залишаються два класи 3 та 4. З них вибираємо той, в якому значення оцінки є максимальним. У вибраному наборі визначаємо значення характеристики X_3 . Оскільки $X_3 = 0$, то вищої оцінки розроблюваного графічного об'єкта можна досягти, не підкреслюючи заголовок. Цей принцип може працювати і для більшої кількості параметрів.

Слід зазначити, що, оскільки вузли дерева розбивають дані за найважливішими показниками на кожному етапі, то, відповідно, рекомендації будуть дані лише за тими показниками, які в цьому датасеті дають найбільший вплив на значення цільової характеристики.

Це має значення для датасетів з невеликою кількістю записів та відносно велику кількість параметрів. Таким чином, дерево рішень може складатись з вузлів, які містять не всі параметри. Ця проблема усувається збільшенням кількості графічних об'єктів у тренувальній вибірці.

2.3. Удосконалення методу оптимізації темпоральної упорядкованості текстових елементів

Відповідно до поставлених в першому розділі задач, удосконалимо метод оптимізації темпоральної упорядкованості текстових елементів багаторівневих систем. Загальна концепція та формалізація багаторівневої багатозв'язної системи з невизначеністю адаптується до предметної області побудови структурно-логічної схеми освітньої програми (табл. 2.2).

Табл. 2.2. Адаптація загальної концепції та формалізації багаторівневої багатозв'язної системи з невизначеністю адаптується до предметної області побудови структурно-логічної схеми освітньої програми

Компонент	Структурно-логічні схеми освітніх дисциплін [2]
Рівні L (2.1)	Теми, модулі, освітні компоненти (ОК), освітня програма (ОП)
Елементи E_i (2.2)	Окремі теми, змістові модулі, модулі

Компонент	Структурно-логічні схеми освітніх дисциплін [2]
Параметри P_{ij} (2.3)	Опис теми, ключові поняття, назва, код, кількість кредитів тощо
Визначені параметри (2.4)	Опис теми, ключові поняття, кількість годин, компетентності та результати ОП щодо цієї ОК
Невизначені параметри U (2.5)	Порядок ОК, послідовність модулів
Внутрішньорівневі обмеження C_i (2.6)	Порядок тем у модулі, методичні вимоги щодо викладання ОК
Міжрівневі зв'язки R_{ij} (2.7)	Відповідність курсів цілям, зв'язки між модулями
Загальні обмеження C_{global} (2.8)	Загальна кількість годин, максимум кредитів
Критерій $J(P)$ (2.9)	$J(P) = \frac{\sum W^+}{\sum W}$ — частка темпорально впорядкованих зв'язків до загальної кількості зв'язків

2.3.1. Розроблення показника темпоральної спрямованості

Розглянемо набір з n текстів (документів) у межах одного контексту $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$. Серед них є множина документів $D_{\text{виз}}$, для яких відомий час публікації $t(d_n)$, також існує множина документів $D_{\text{невиз}}$, для яких час публікації невідомий або невизначений.

Текст може містити опис кількох подій, що відбулися в різний час, або представлення подій, які мають внутрішню хронологічну структуру, незалежну від дати публікації. Це зумовлює необхідність розв'язання таких задач:

- автоматично визначати відносний порядок появи подій у текстах новин без явних часових позначок. Використання лише дати публікації є недостатнім для точного встановлення порядку подій, особливо якщо в одному документі описується кілька подій або події висвітлюються в різних контекстах;
- оцінювати темпоральну спрямованість між словами, що відображають послідовність подій, на основі лінгвістичних та статистичних закономірностей. Це дає змогу глибше аналізувати внутрішню структуру тексту та встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між подіями, навіть за відсутності явних часових маркерів;
- забезпечувати високу точність у відтворенні хронології документів на основі аналізу пар слів у текстах.

Конкретно, завдання полягає у розробленні нейромережевого підходу, який:

- моделює ймовірність того, що одне слово з'являється раніше за інше, шляхом попарного порівняння слів у новинних текстах. Це дає змогу враховувати контекстні зв'язки між словами та встановлювати точнішу хронологічну послідовність подій всередині тексту;
- агрегує оцінки темпоральної спрямованості на рівні слів для визначення загального хронологічного порядку документів;
- демонструє високу точність у хронологічному впорядкуванні документів навіть за відсутності явних часових маркерів. Це особливо важливо для автоматичного аналізу великих масивів текстових даних, де ручне визначення порядку подій є непрактичним.

Таким чином, постановка задачі полягає в розробленні нейромережевого підходу, здатного визначати темпоральну спрямованість між словами в текстах новин без явних часових маркерів, та демонстрації його ефективності на великому корпусі даних. Це дасть змогу не лише автоматизувати процес хронологічного впорядкування новинних подій, а й – підвищити точність аналізу великих масивів текстових даних, що є важливим для таких застосувань, як аналіз історичних подій, моніторинг медіа, встановлення причинно-наслідкових зв'язків між подіями, а також інших сфер, де необхідно розуміти послідовність.

Для вирішення цієї задачі пропонується використовувати показник темпоральної спрямованості (indicator of temporal directionality). Темпоральною спрямованістю пари лексичних одиниць (слова/поняття/тексту) називається ймовірність того, що в репрезентативному корпусі датованих документів поява першої лексичної одиниці статистично передреує другій. Поняття темпоральної спрямованості суттєво відрізняється від відомих понять у сфері темпоральної інформації та обробки природної мови. По-перше, на відміну від темпоральних відношень (temporal relations) (наприклад, «до», «після», «під час»), що визначають логічні або хронологічні зв'язки між подіями чи часовими виразами, розрахунок темпоральної спрямованості ґрунтується на ймовірнісному підході

для оцінювання порядку появи слів з огляду на статистичні закономірності в текстових даних. По-друге, традиційне темпоральне впорядкування (temporal ordering) передбачає чітку хронологічну послідовність подій, засновану на часових маркерах або контексті. Натомість темпоральна спрямованість дає змогу визначати відносний порядок подій навіть за відсутності таких маркерів, аналізуючи взаємну частоту появи слів у датованих текстах. По-третє, на відміну від концепції «темпоральної прив'язки» (temporal anchoring), що зосереджується на присвоєнні подіям абсолютних часових позначень, темпоральна спрямованість орієнтована на відносні зв'язки між словами, даючи змогу моделювати гнучкіші й більш адаптивні відношення без необхідності точного визначення часових рамок. Крім того, «темпоральне міркування» (temporal reasoning) включає процеси логічного виведення темпоральних зв'язків на основі попередньо заданих даних. У той час темпоральна спрямованість фокусується на безпосередньому визначенні ймовірності порядку слів без опори на попередні логічні висновки щодо темпоральних відношень. Отже, визначення показника темпоральної спрямованості могло б доповнити існуючі підходи темпорального аналізу, дозволяючи оцінювати відносний порядок подій на основі статистичних даних, навіть за відсутності явних часових маркерів. Це розширило б можливості автоматичного аналізу текстів і дозволило підвищити точність хронологічного впорядкування подій у різноманітних контекстах.

Визначення темпоральної спрямованості між двома документами пропонується здійснювати у два етапи:

Етап 1. Визначення темпоральної спрямованості між усіма парами слів цих документів, які несуть певний унікальний зміст (за винятком стоп-слів, спеціальних символів, слів, які зустрічаються в обох документах одночасно тощо), у вигляді числової оцінки в діапазоні $[0, 1]$ або у нормалізованому вигляді $[-1, 1]$.

Етап 2. Обчислення різних статистичних показників щодо слів і символів у цих документах та аналіз темпоральної спрямованості пар слів у цих документах (наприклад, порівняння з різними порогами допустимого діапазону) та подальша класифікація за одним із 3-х варіантів: перший документ раніше другого, другий

– раніше першого чи «Не можна це визначити» (там може й не бути часової прив'язки, наприклад «Всесвіт — нескінченний»).

Формалізуємо задачу. Темпоральна спрямованість TD_d між парою документів d_1 та d_2 — це ймовірність того, що публікація документа d_1 відбулася раніше, ніж d_2 .

Визначити темпоральну спрямованість на рівні документів можна, оцінюючи сукупність значень показника темпоральної спрямованості між парами слів. Для цього необхідно попарно порівняти всі слова $w_i \in d_1$ з усіма словами $w_j \in d_2$.

Показник темпоральної спрямованості (ПТС) для пари слів можна обчислити, маючи датасет датованих текстів, що містить не тільки текст але і його час публікації за формулою $TD(w_i, w_j)$.

Формула для обчислення ПТС між словами $w_i \in d_1$ та $w_j \in d_2$ пропонується у такому вигляді:

$$TD(w_i, w_j) = \frac{N(w_i \rightarrow w_j)}{N(w_i) \cdot N(w_j)}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.12)$$

де $N(w_i \rightarrow w_j)$ — кількість випадків, коли документ, що містить слово w_i , був опублікований раніше за документ, що містить слово w_j ; $N(w_i)$ — загальна кількість документів, що містять слово w_i ; $N(w_j)$ — загальна кількість документів, що містять слово w_j .

Ця формула обчислює ймовірність того, що слово w_i з'являється в публікаціях раніше, ніж слово w_m , на основі дат публікацій у наборі текстів:

- якщо (2.12) має значення 0, тоді слово w_i не з'являлося ніколи перед w_j , а отже, з'являлось завжди після w_j ;
- якщо (2.12) має значення 0.5, тоді слово w_i з'являється як раніше, так і пізніше w_j ;
- якщо (2.12) має значення 1, тоді слово w_i завжди зустрічається після w_j .

Для наочності можна запропонувати нормалізований у межах $(-1, 1)$ варіант показника (2.12):

$$NTD(w_i, w_j) = 2 \cdot TD(w_i, w_j) - 1. \quad (2.13)$$

Ця формула обчислює нормалізоване значення темпоральної спрямованості між словами w_i та w_j . У результаті обчислення показників темпоральної спрямованості на рівні слів (2.13) для кожної пари слів $w_i \in W_1$ та $w_j \in W_2$ між документами d_1 та d_2 , утворюється така сукупність:

$$NTD_{words}(W_1, W_2) = \begin{pmatrix} ntd_{11} & \cdots & ntd_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ntd_{n1} & \cdots & ntd_{nm} \end{pmatrix}, \quad (2.14)$$

де W_1, W_2 – це сукупності слів документів d_1 та d_2 , $ntd_{nm} = NTD(w_i, w_j)$ – це значення ПТС між парою слів w_i та w_j .

Для кожної пари документів матриця буде розміру $A \times B$, де A — кількість слів у документі d_1 , а B – кількість слів у документі d_2 . Оскільки в цьому дослідженні не враховується положення слів у тексті, а кількість слів у документах може бути різною, показник (2.14) можна представити у вигляді вектора довжиною $A \times B$.

Важливо зазначити, що кількість операцій, необхідних для обчислення темпоральної спрямованості між двома документами $TD()$ та $NTD()$, буде пропорційна: $O(A \times B \times k^2)$, де k — середня кількість документів, в яких зустрічається кожне слово. Таким чином, складність алгоритму зростає лінійно зі збільшенням кількості слів у документах та квадратично зі збільшенням кількості документів, в яких зустрічаються ці слова. На датасеті з 150 000 документів по 50 слів у кожному кількість операцій може сягати $5,6 \times 10^9$, що ускладнює створення великого набору даних для навчання проблематичним на комп'ютерах з обмеженими ресурсами та недостатньою потужністю. А тому для оброблення цих даних пропонується застосування глибоких нейронних мереж з паралелізацією обчислень.

На другому етапі для класифікації темпоральної спрямованості документів J варто здійснювати передбачення за різними ознаками:

$$F(W_1), F(W_2), G(NTD_{words}), \dots, \quad (2.15)$$

де $F()$ – ознаки, основані на статистичних показниках, обчислених для вибірок кількості слів та символів у документах, $G()$ – ознаки, які дозволяють по темпоральній спрямованості (NTD) між словами оцінити спрямованість між документами та взаємозв'язки між ними. Для прикладу (2.15) пропонується такий набір з наступних 48 ознак (табл. 2.3).

Табл. 2.3. Перелік ознак для аналізу слів у документах

№	Опис ознаки	№	Опис ознаки
1	Кількість слів у тексті 1 (W_1)	25	Сума всіх знаків
2	Кількість слів у тексті 2 (W_2)	26	Кількість оцінок NTD, які менше -1
3	Кількість символів у тексті 1 (W_1)	27	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює -1
4	Кількість символів у тексті 2 (W_2)	28	Кількість оцінок, яка дорівнює -0.9
5	Добуток кількості слів у текстах 1 (W_1) і 2 (W_2)	29	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює -0.8
6	Сума кількості слів у текстах 1 (W_1) і 2 (W_2)	30	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює -0.7
7	Відношення кількості слів у тексті 1 (W_1) до тексту 2 (W_2)	31	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює -0.6
8	Відношення кількості слів у тексті 2 (W_2) до тексту 1 (W_1)	32	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює -0.5
9	Добуток кількостей символів текстів 1 (W_1) і 2 (W_2)	33	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює -0.4
10	Сума кількостей символів текстів 1 (W_1) і 2 (W_2)	34	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює -0.3
11	Відношення кількостей символів тексту 1 (W_1) до тексту 2 (W_2)	35	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює -0.2
12	Відношення кількостей символів тексту 2 (W_2) до тексту 1 (W_1)	36	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює -0.1
13	Середнє значення оцінок NTD	37	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 0
14	Знак середнього значення оцінок NTD	38	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 0.1
15	Стандартне відхилення оцінок NTD	39	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 0.2
16	Згладжене середнє значення за модулем NTD	40	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 0.3
17	Згладжене середнє абсолютне значення NTD	41	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 0.4
18	Сума максимального і мінімального значень оцінок NTD	42	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 0.5
19	Різниця між максимальним і мінімальним значеннями оцінок NTD	43	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 0.6
20	Максимальне значення оцінки NTD	44	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 0.7
21	Мінімальне значення оцінки NTD	45	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 0.8
22	Сума всіх оцінок NTD	46	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 0.9
23	Середнє значення знаків оцінок NTD	47	Кількість оцінок NTD, яка дорівнює 1
24	Стандартне відхилення знаків оцінок NTD	48	Кількість оцінок NTD більше 1

Для визначення темпоральної спрямованості з цільовою ознакою, яка приймає значення (-1, 1) або (-1,0,1), для кожної пари документів можна використати різні класифікаційні інтелектуальні моделі машинного навчання.

Використовуючи датасет датованих текстів, можна створити навчальний набір даних для моделей штучного інтелекту, попарно порівнюючи тексти визначеним вище способом з метою передбачення темпоральної спрямованості на рівні документів. В результаті, ці моделі передбачатимуть імовірність того, що один документ хронологічно передує іншому, формуючи таким чином відносний порядок подій між різними документами, що не мають часових міток.

2.3.2. Розроблення методу темпорального впорядкування структурно-логічних схем освітніх програм

Розроблений метод темпорального впорядкування багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю можна розділити на 4 етапи: підготовка даних, пошук ключових понять, пошук дієслів, що пов'язані з цими поняттями, хронологічне впорядкування дисциплін (рис. 2.3).

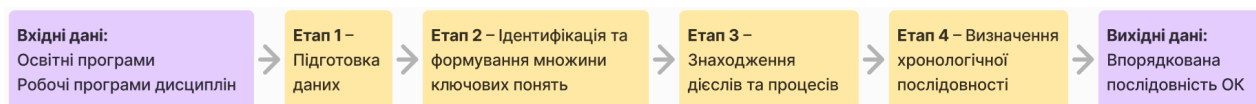


Рис. 2.3. Підхід до розроблення інтелектуальної технології автоматизованого аналізу та впорядкування змісту освітніх програм

Першим етапом методу є підготовка даних. Його завданням є знаходження потенційно подібних дисциплін та видобування з робочої програми (чи силабусу) опису тем змістових модулів і формування датасету, необхідного для подальшого аналізу й визначення темпоральних відносин між освітніми компонентами. Зокрема, передбачаються такі кроки:

- аналіз компетентностей і результатів навчання;
- визначення відповідних освітніх компонентів по таблицях відповідності освітньої програми;
- пошук і збирання навчальних матеріалів та збереження у датасеті.

Зокрема, спочатку експертним шляхом або за пошуком наявності певних слів чи частин слів важливих груп понять (наприклад “програм”, “систем”,

“продукт” тощо) знаходяться спеціальні компетентності (СК) та результати навчання (РН), які містять ці слова. Також, для такого аналізу можна використати LLM. Результатом є номери цих СК та РН. Загалом, можна шукати і в загальних компетентностях, але основні результати, як правило, мають бути саме у спеціальних.

На основі попередньо виділених СК та РН здійснюється відбір обов’язкових дисциплін, де формуються або розвиваються ці компетентності. Для цього використовується матриця відповідності компетентностей обов’язковим освітнім компонентам та матриця забезпечення програмних результатів навчання обов’язковими освітніми компонентами. Результатом цього є список ОК, які слід включити в датасет для подальшого аналізу й визначення темпоральних відносин між освітніми компонентами.

З відповідних силабусів чи робочих програм цих ОК відбираються в датасет теми та їх описи, що містяться в розділах «Тематика дисципліни» чи «Змістові модулі». В результаті маємо датасет, в якому містяться: назва ОК, список тем з описами тем.

Другим етапом методу є ідентифікація та формування множини ключових понять. Після збирання вихідних даних про дисципліни, їхні теми та описи, виконується етап визначення ключових понять (напр. “програмний продукт”), які характеризуються різними ключовими словами в контекстах різних дисциплін (напр. “інформаційна система”, “програмне забезпечення”, “комп’ютерна програма” тощо). Тому для вилучення ключових понять передбачається 2 кроки:

- знаходження ключових слів для кожної ОК з датасету;
- групування ключових слів по ключових поняттях.

В результаті попереднього аналізу наявних даних, виявилось, що певні слова можуть бути частиною декількох словосполучень, які мають різний контекст. Наприклад, «Програма» може бути частиною різних змістовних словосполучень «Навчальна програма», «Прикладна програма», «Пакет програм». Відповідно було зроблено висновок, що ключове слово не достатньо характеризується одним словом, найчастіше для повноти сенсу використовується

2 слова (теоретично, їх може бути й більше), які мають подібні сполучення за частинами мови: «прикметник-іменник», чи «іменник-іменник».

Для виявлення ключових слів у потрібній формі доступні такі методи: застосування технологій оброблення природномовного тексту, метод аналізу частотності, чи за допомогою використання сучасних великих мовних моделей.

На основі попередньо виявлених ключових слів за допомогою експертного методу або із застосуванням великих мовних моделей чи гібридних методів обрані слова групуються по ключових поняттях (рис. 2.4).

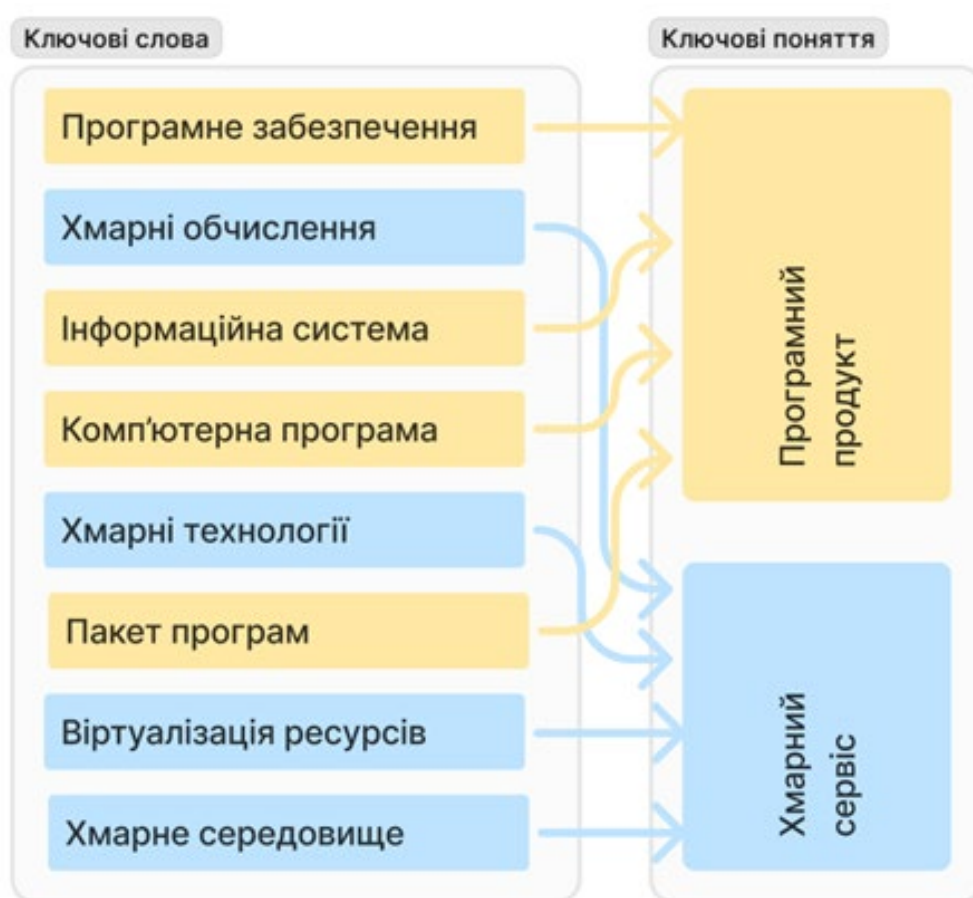


Рис. 2.4. Приклад співвідношення ключових слів до ключових понять

Для кожного ключового поняття визначається кількість дисциплін в яких зустрічаються ключові слова, які характеризують ключове поняття. Відповідно до мети дослідження є сенс для подальшої роботи відібрати ті ключові поняття, які представлені в більше ніж одній дисципліні.

Результат даного етапу — є датасет ключових понять, що характеризуються відповідними групами ключових слів і представлені в більш ніж одній дисципліні.

Третім етапом методу є знаходження дієслів та процесів. На цьому етапі зосереджується увага на виявленні дієслів чи слів-процесів, пов'язаних із ключовими поняттями, визначеними на попередньому етапі. На цьому слід застосовувати різні методи виявлення пов'язаних слів, одним із яких може бути вилучення визначень слів з тексту навчальних матеріалів.

В описі теми дисципліни окрім ключових понять можна побачити і слова, які відображають дії з/над цими поняттями. Вони мають дві форми:

- дієслово, наприклад: “знаходити”, “обробляти”, “аналізувати”;
- віддієслівний іменник: “пошук”, “оброблення”, “аналіз”, що описують дію як процес.

Найчастіше в назвах та описах тем дисципліни в навчальних матеріалах використовується друга форма — віддієслівний іменник. Для коректності подальшого аналізу доречно обрати одну з форм і під час вилучення слів, перетворювати одну форму в іншу. Сучасні інструменти NLP або великі мовні моделі можуть допомогти в автоматичному перетворенні дієслів у віддієслівні іменники. Наприклад, бібліотеки Python, такі як SpaCy або NLTK [96].

Подальше узгодження «ключове поняття + дієслово/процес» уможливило встановлення послідовності етапів життєвого циклу для визначення порядку дисциплін, в яких вони викладаються.

Пропускаючи, що акредитовані програми містять у собі впорядковані дисципліни, зібравши їхні описи тем та проаналізувати порядок дисциплін певної тематики можна визначити які дієслова/процеси зустрічаються частіше на ранніх курсах, у середині освітнього процесу та — в кінці. З використанням стандартних алгоритмів NLP можна визначити які дієслова є характерними виключно для певної стадії тріади.

Застосовуючи можливості LLM пошук та зіставлення ключових понять з пов'язаними словами-процесами можна виконувати одночасно. Однак, у деяких

випадках мовна модель може пропонувати дієслова, що прямо не трапляються в тексті, але логічно випливають із контексту. Хоч вони формально й відсутні в описах дисциплін, проте здатні збагатити набір дій або уточнити їхній сенс.

В результаті маємо єдиний перелік дієслів з прив'язкою до ключового слова та відповідного ключового поняття.

Четвертим етапом методу є визначення темпоральних відносин між освітніми компонентами. На цьому етапі виконується визначення темпоральних відносин дисциплін у межах освітніх компонентів, що базується на аналізі ключових понять і пов'язаних із ними процесів. Для цього розробляється розмічений датасет і класифікаційна модель, яка допомагає впорядковувати дисципліни за їхнім змістом і логічним зв'язком. Також деякі навчальні дисципліни, наприклад гуманітарного характеру, можуть містити в собі часові маркери, наприклад, дати/час певних подій чи вказування на певний часовий інтервал, що може допомогти у впорядкуванні в тих освітніх програмах де хронологічна послідовність є доречною. Для виявлення подібних часових міток слід застосовувати технології обробки природньої мови такі як NER, можливо із застосуванням регулярних виразів чи використанням моделей штучного інтелекту.

Для визначення темпоральних відношень між освітніми компонентами, слід спершу сформувати набір даних. Цей процес починається зі збирання блок-схем акредитованих освітніх програм та аналізу навчальних матеріалів дисциплін, доступних у відкритих джерелах. Усі матеріали аналізуються з метою виявлення ключових слів і дієслів/процесів. Кожна дисципліна відповідно до своєї позиції в блок-схемі визначається як така, що належить до першої, другої або третьої частини тріади. Перша частина включає дисципліни, що викладають базові поняття і принципи функціонування найчастіше знаходяться на 1 курсі, друга – дисципліни, які зосереджуються на розробленні та вдосконаленні продуктів, такі дисципліни зазвичай знаходяться на 2-3 курсах, а третя – дисципліни, що демонструють практичне застосування цих продуктів і знаходяться на останніх курсах.

Кожна дисципліна з акредитованих програм обробляється таким самим способом: знаходяться ключові поняття, пов'язані з ними дієслова/процеси та визначається місце цієї дисципліни в тріаді. Відповідно, формується датасет, що містить назви дисциплін, ключові слова, дієслова і позицію дисципліни у тріаді. Цей датасет стає основою для навчання класифікаційної моделі, яка визначатиме порядок дисциплін на основі їхнього змісту. Якщо датасет — не достатньо великий, тоді його можна доповнити інформацією з документації чи іншої довідкової літератури, присвяченій життєвому циклу функціонування того об'єкту, який відповідає тому поняттю (наприклад, проектування, супровід та використання програмного забезпечення, створення і використання інформаційно-вимірювальних систем тощо).

Далі виконується навчання класифікаційної моделі. Після навчання модель перевіряється за метриками точності, повноти і F1-міри, а також тестується на нових дисциплінах, що не входили до навчального набору даних. Це дозволяє оцінити її здатність коректно визначати послідовність дисциплін і враховувати взаємозв'язки між ними.

У результаті цього етапу створюється класифікаційна модель, яка дозволяє визначати порядок дисциплін у межах тріад. Вона забезпечує логічну узгодженість освітніх програм, підвищує якість їхньої структурної організації.

2.4. Розроблення методу оптимізації параметрів аналітичних вебсистем

Відповідно до поставлених в першому розділі задач, удосконалимо метод оптимізації темпоральної упорядкованості текстових елементів багаторівневих систем.

Загальна концепція та формалізація багаторівневої багатозв'язної системи з невизначеністю адаптується до предметної області до оптимізації параметрів аналітичних вебсистем (табл. 2.4).

Табл. 2.4. Адаптація загальної концепції та формалізації багаторівневої багатозв'язної системи з невизначеністю до предметної області оптимізації параметрів аналітичних вебсистем

Компонент	Оптимізація аналітичних вебсистем [3]
Рівні L (2.1)	Змінні, формули, моделі, аналітична вебсистема
Елементи E_i (2.2)	Конкретні змінні або функції, які характеризують види стану чи процесів у системі
Параметри P_{ij} (2.3)	Величини та математичні залежності
Визначені параметри (2.4)	Вимірювані змінні, наявні формули
Невизначені параметри U (2.5)	Відсутні залежності, в тому числі й міжрівневі
Внутрішньорівневі обмеження C_i (2.6)	Валідація формул, одиниці вимірювання
Міжрівневі зв'язки R_{ij} (2.7)	Залежності між змінними різних рівнів
Загальні обмеження C_{global} (2.8)	Складність моделі, обмеження на граф
Критерій $J(P)$ (2.9)	$J(P) = \frac{n}{N}$ — показник топологічної спостережуваності

Інформаційна модель M системи у вигляді множини чи системи співвідношень

$$M = \{y_j = f_p(e_1, e_2, \dots, e_N, y_1, y_2, \dots, y_K), j = 1, 2, \dots, K, p = 1, 2, \dots, P\}, \quad (2.16)$$

де $e_i, i = 1, \dots, N$ — вхідні змінні, якими є первинні дані, що надходять ззовні шляхом уведення користувачем, чи з якихось датчиків, чи з відкритих даних через API тощо, $y_j, j = 1, \dots, K$ — змінні стану, тобто — проміжні змінні, які формуються вже у системі і є або результатом виконання запитів до бази даних, або результатами обчислень у функціях користувача чи ін. — будь-які, що формуються певною залежністю (чи функцією або алгоритмом) $f_p, p = 1, \dots, P$ з певної кількості (від 0 до N) вхідних змінних та з певної кількості змінних стану (від 0 до N , але на вході алгоритму має бути не менше однієї вхідної змінної або змінної стану), і результат яких теж зберігається у базі даних або у пам'яті комп'ютера, наприклад, для виведення у вигляді графіка чи на карті. У загальному випадку, у моделі (2.16) можна формалізувати й петлі, тобто та сама змінна стану може бути і на вході, і на виході залежності f_p , оскільки на етапі перевірки моделі (2.16) на спостережуваність особливості обчислення змінних у часі не вивчаються: інформаційна модель (2.16) враховує тільки види потоків даних та алгоритмів оброблення їхніх різних комбінацій.

У класичних системах керування, зазвичай, виділяються окремо змінні стану та вихідні змінні, оскільки для задач керування потрібні передусім вихідні змінні, але в аналітичних вебсистемах результатом може бути й просто графік будь-якої змінної стану (або й первинних даних), тому тут така класифікація не потрібна.

Метод перевірки на топологічну спостережуваність полягає в тому, що насамперед вирази (2.16) перетворюються на біхроматичний граф з двома типами вершин: вершини-змінні (e_i або y_j) (відображаються, зазвичай, у вигляді заштрихованих кіл) і вершини-залежності (f_p) (відображаються у вигляді незаштрихованих кіл), які пов'язуються ребрами, кількість яких дорівнює кількості вхідних і вихідних змінних у кожній залежності f_p моделі (2.16). Важливе обмеження цього методу полягає в тому, що кожна залежність моделі (2.16) повинна мати тільки один вихід. Якщо виходів має бути більше, тоді слід залежність розбити на декілька, результатом яких все-таки буде тільки один вихід. Системи, алгоритми перетворення даних в яких неможливо розбити на такі, де буде тільки один вихід, не є предметом цього дослідження і є обмеженням розроблюваного методу.

На другому етапі перевірки на топологічну спостережуваність на біхроматичному графі виділяють усі так звані «сильні» ребра, в кожне з яких входить одна вершина-залежність (тільки одна — не більше і не менше). Звичайно, для складних систем комбінацій таких ребер багато. Але головне, визначити так зване максимальне паросполучення, тобто таку комбінацію, де кількість n таких сильних ребер (точніше: кількість вершин-змінних, кожна з яких входить хоча б в одне «сильне» ребро [92]–[94]) буде найбільшою. А тоді, якщо $n = N$, тобто кількість сильних ребер максимального паросполучення дорівнює кількості вершин-залежностей, тоді підсумовується, що інформаційна модель (2.16) є топологічно спостережуваною.

У роботі [92] запропоновано ввести критерій повноти топологічної спостережуваності J :

$$J = \frac{n}{N}. \quad (2.17)$$

Зокрема, випадок $J = 1$ означає повну топологічну спостережуваність, а менші значення — неповну. Цей критерій потрібний для порівняння різних варіантів інформаційних моделей, коли повноти досягти не вдається, але можна спробувати хоча б удосконалити модель, щоб максимізувати цей критерій, а тоді різними програмними заходами в інтерфейсі системи обмежити появу ситуацій, коли неповна топологічна спостережуваність системи призведе до непрацездатності системи чи до нештатного виконання її основних функцій.

Зазвичай, для виконання умови $J = 1$ необхідно і достатньо, щоб в позначеннях моделі (2.16) виконувалась умова

$$P \geq N + K, \quad (2.18)$$

тобто кількість залежностей має бути не меншою сумарної кількості вхідних змінних та змінних стану.

Наведемо приклад. Нехай інформаційна модель певної системи у нотації (2.16) має інформаційну модель такого вигляду ($N = K = 2$; $P = 4$):

$$\begin{cases} y_1 = f_1(e_1), \\ y_1 = f_2(e_1, e_2), \\ y_2 = f_3(e_1), \\ y_2 = f_4(e_2, y_1). \end{cases} \quad (2.19)$$

На рисунку 2.5 показано біхроматичний граф (БГ) для моделі (2.19).

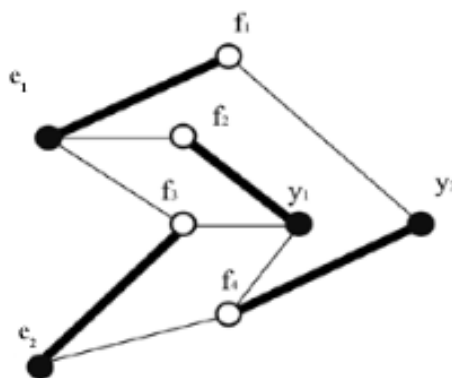


Рис. 2.5. Біхроматичний граф для інформаційної моделі (2.19) з виділеними на ньому ребрами з максимальним паросполученням, для якого кількість сильних (товсті лінії) ребер дорівнює $n = 4$

У роботі [5], також, показано, яким чином можна побудувати БГ для багатьох класів інформаційних систем, зокрема для багатозв'язаних із даними з просторовою прив'язкою та формалізацією просторових даних у вигляді геометричних мереж; запропоновано метод оптимізації БГ за критерієм (2.17) та описана низка правил, які дозволяють виконати зворотну трансформацію, тобто отримати нову інформаційну модель у нотації (2.16) за оптимізованим БГ.

Повністю топологічно спостережувана інформаційна модель вебсистеми дозволяє бути впевненим, що будь-який запит чи функція із множини $F = \{f_p, p = 1, \dots, P\}$ спрацює і дасть на виході результат із множини $Y = \{y_p, j = 1, \dots, K\}$. Одразу зазначимо, що програмні особливості типу ділення на нуль, помилки у роботі програми та інші проблемні результати не є предметом цього дослідження — стандартні етапи тестування програмного забезпечення — це подальший етап розроблення чи удосконалення вебсистем. Це дослідження стосується тільки оптимізації інформаційної моделі, тобто уникнення ситуацій, коли для якогось запиту чи алгоритму з множини F просто не вистачатиме первинних даних з множини $E = \{e_p, i = 1, \dots, N\}$ або проміжних змінних з множини Y .

Ідея запропонованого методу полягає в тому, що спершу для кожного рівня системи будується своя модель

$$M = \{M^l\}, l = 1, 2, \dots, L, \quad (2.20)$$

$$M^r = \left\{ \begin{array}{l} y_j^l = f_p^l(e_1^l, e_2^l, \dots, e_{N^r}^l, y_1^l, y_2^l, \dots, y_{K^l}^l), \\ j = 1, 2, \dots, K^l, p = 1, 2, \dots, P^l \end{array} \right\}, \quad (2.21)$$

де $e_i^l, i = 1, \dots, N^l$ — вхідні змінні для l -го рівня моделі системи, $y_j^l, j = 1, \dots, K^l$ — змінні стану, які формуються у системі за певною залежністю чи алгоритмом $f_p^l, p = 1, \dots, P^l$ з первинних даних та, можливо, й зі змінних стану.

Вважаємо, що 1-й рівень найбільш агрегований, а 2-й рівень — менший за розміром, тобто збільшення масштабу (зменшення рівня агрегування) — це перехід від 1-го рівня до 2-го, до 3-го і т. д. Наприклад, 1-й рівень — країна, 2-й — область, 3-й — район, 4-й — місто чи підприємство тощо.

Для кожної моделі (2.20) l -го рівня будується свій БГ l -го рівня. Для нього визначається кількість сильних ребер (вершин-змінних, що в них входять) n^l і обчислюється критерій J^l повноти топологічної спостережуваності

$$J^l = \frac{n^l}{N^l}, l = 1, \dots, L. \quad (2.22)$$

Далі, перевіряється виконання умови для інтегрального критерію J повноти топологічної спостережуваності усїєї інформаційної моделі системи

$$J = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L J^l = 1. \quad (2.23)$$

Якщо умова (2.23) не виконується, тоді проводиться оптимізація кожного БГ l -го рівня шляхом утворення нових залежностей на тому ж рівні. Якщо це не допомогло, тоді залежності утворюються між змінними моделей різних рівнів (назвемо їхні «міжрівневі»), допоки не вдасться максимізувати інтегральний критерій J . Прикладами таких міжрівневих залежностей можуть бути, до прикладу, функції агрегування даних, коли дані по адміністративній області формуються як сума даних по районах або дані басейну річки на основі даних по масивах вод тощо.

Оскільки щодо міжрівневих залежностей виникне двозначність щодо того, до якого рівня їхні відносити, зокрема щодо позначення верхнього індексу, пропонується ввести спеціальне позначення для залежностей між змінними рівнів l_1 та l_2 : $r_w^{l_1, l_2}$, $w = 1, \dots, W$. Тоді модель (2.20) набуде вигляду

$$\begin{aligned} M &= \{M^l\}, l = 1, \dots, L; \\ M^l &= \{Y = F(E, Y), Y = G(E, Y)\}; \\ X &= \{e_i^l, i = 1, \dots, N^l\}, Y = \{y_j^l, j = 1, \dots, K^l\}; \\ F &= \{f_p^l(x_1^l, x_2^l, \dots, x_N^l, y_1^l, y_2^l, \dots, y_{K^l}^l), p = 1, \dots, P^l\}; \\ R &= \{r_w^{l_1, l_2}(x_1^l, x_2^l, \dots, x_{N^r}^l, y_1^l, y_2^l, \dots, y_{K^l}^l), w = 1, \dots, W\}. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Важливо зазначити, що після додавання міжрівневих залежностей слід шукати максимальне паросполучення та визначати загальну кількість сильних ребер n вже для усїєї моделі в цілому і користуватись формулою (2.17).

Якщо жоден із способів оптимізації усіх БГ не дав можливості досягти $J = 1$, тоді для даних та залежностей рівнів, де критерій (2.22) є меншим за 1, вводяться програмні обмеження і додаткові перевірки на функціональність інтерфейсу, враховуючи потенційну неможливість формування певних запитів.

Пояснимо алгоритм та ефективність додавання міжрівневих залежностей на прикладі. Нехай модель у нотації (2.20) має вигляд (на кожному рівні по дві вхідні змінні і по одній вихідній)

$$\begin{cases} y_1^1 = f_1^1(e_1^1), \\ y_1^1 = f_2^1(e_1^1, e_2^1), \\ y_1^2 = f_1^2(e_1^2), \\ y_1^2 = f_2^2(e_1^2, e_2^2). \end{cases} \quad (2.25)$$

На рис. 2.6а показано БГ моделі (2.25), з якої видно, що максимальне паросполучення кожного рівня має тільки 2 сильних ребра, тобто

$$J^1 = \frac{n^1}{N^1} = \frac{2}{2+1} = 0,67 < 1, \quad J^2 = \frac{n^2}{N^2} = \frac{2}{2+1} = 0,67 < 1. \quad (2.26)$$

Обчислюємо інтегральний критерій моделі, підставляючи (2.26) в (2.23),

$$J = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^2 J^l = 0,67 < 1. \quad (2.27)$$

Отже, умова (2.23) не виконується. Переходимо до оптимізації моделі. Нехай, оптимізація на кожному рівні неможлива (чи вичерпано усі спроби, які не дали ефекту), але міжрівневі залежності можливі. Доповнюємо модель (2.20) до загального вигляду (2.24)

$$\begin{cases} y_1^1 = f_1^1(e_1^1), \\ y_1^1 = f_2^1(e_1^1, e_2^1), \\ y_1^2 = f_1^2(e_1^2), \\ y_1^2 = f_2^2(e_1^2, e_2^2), \\ x_1^1 = r_1^{1,2}(e_1^2), \\ x_2^1 = r_2^{1,2}(e_2^2). \end{cases} \quad (2.28)$$

На рис. 2.6б показано БГ моделі (2.23), з якої випливає, що максимальне паросполучення усіх рівнів разом має $n = 6$ сильних ребер, що дорівнює сумарній кількості усіх вхідних змінних та змінних стану, а тому з (2.17)

$$J = \frac{n}{N} = \frac{6}{4 + 2} = 1. \quad (2.29)$$

Отже, система стала повністю топологічно спостережуваною.

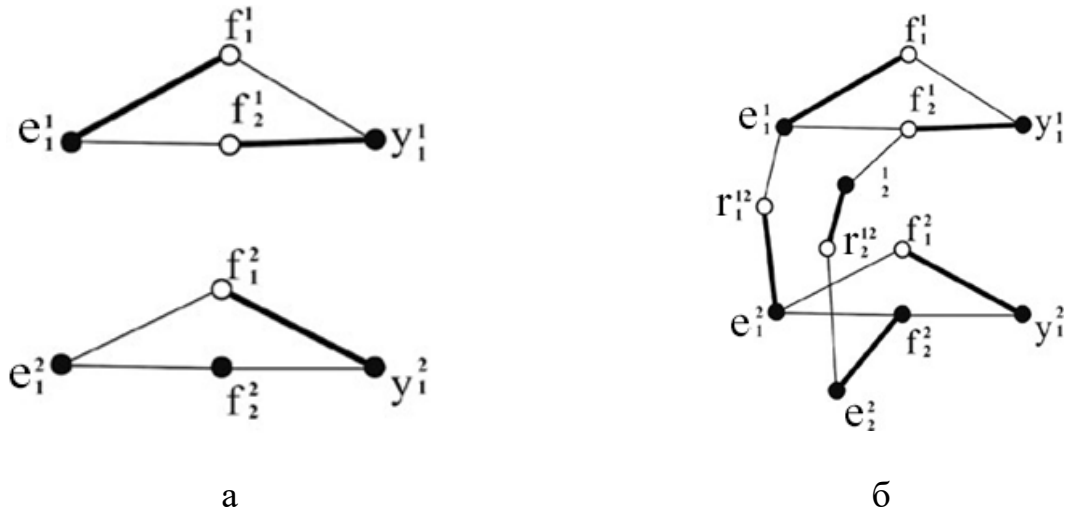


Рис. 2.6. Біхроматичний граф для інформаційної моделі (2.25) з виділеними на ньому ребрами з максимальним паросполученням: а — для моделі (2.25), тобто до оптимізації (загальна кількість сильних ребер дорівнює $n = 1$, $J = 0,67$); б — для моделі (2.23), тобто після оптимізації ($n = 1$, $J = 1$)

Таким чином, алгоритм застосування запропонованого методу оптимізації інформаційних моделей масштабованих у просторі багаторівневих аналітичних вебсистем за критерієм повноти їхньої топологічної спостережуваності полягає у такому:

1. Виділити усі рівні $l = 1, \dots, L$ масштабування у просторі, на яких планується виконувати аналітичні операції у проєктованій вебсистемі.
2. Формалізувати задачу, виділивши на кожному l -му рівні елементи множин вхідних змінних E і змінних стану Y та множин залежностей (алгоритмів, функцій тощо) F .
3. Записати інформаційні моделі M_l для кожного рівня в нотації (2.20).
4. Побудувати для кожної моделі M_l біхроматичний граф (БГ).
5. Для кожного БГ l -го рівня визначити максимальне паросполучення та визначити у ньому кількість сильних ребер n^l .

6. Визначити критерії повноти топологічної спостережуваності на кожному рівні J_l за формулою (2.22).
7. Обчислити інтегральний критерій повноти топологічної спостережуваності моделі системи в цілому J .
8. Перевірити виконання умови ($J = 1?$) (2.23).
9. Якщо умова (2.23) виконується, тоді перейти до завершення, інакше — на наступний етап.
10. Оптимізувати БГ для M_l для кожного l -го рівня окремо, після чого повторити пп. 4—6.
11. Якщо умова (2.23) виконується, то перейти до завершення, інакше — на наступний етап.
12. Доповнити модель (2.20) до моделі (2.24) введенням міжрівневих залежностей R у БГ системи в цілому.
13. Для БГ усієї системи в цілому визначити максимальне паросполучення та порахувати у ньому кількість сильних ребер n .
14. Обчислити інтегральний критерій повноти топологічної спостережуваності моделі системи в цілому J за формулою (2.17) та перевірити виконання умови « $J = 1?$ ».
15. Якщо умова « $J = 1$ » виконується, то перейти до завершення, інакше — на наступний етап.
16. Ввести програмні обмеження у функціональність вебсистеми, щоб уникнути появи запитів чи залежностей, незабезпечених даних, через неповну топологічну спостережуваність окремих (чи усіх) рівнів системи.
17. Завершення алгоритму.

На рис. 2.7 показано схематичне представлення результату виконання п.12 цього алгоритму, тобто підсумковий оптимізований БГ моделі масштабованої у просторі аналітичної вебсистеми.

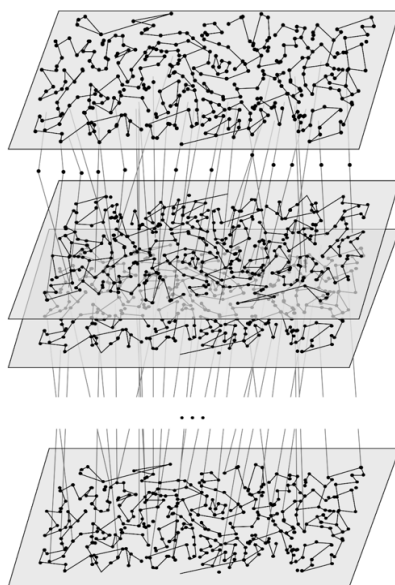


Рис. 2.7. Узагальнена схема біхроматичного графа багаторівневої масштабованої у просторі аналітичної вебсистеми

Блок-схема цього алгоритму застосування запропонованого методу оптимізації інформаційних моделей масштабованих у просторі аналітичних вебсистем подана на рис. 2.8.

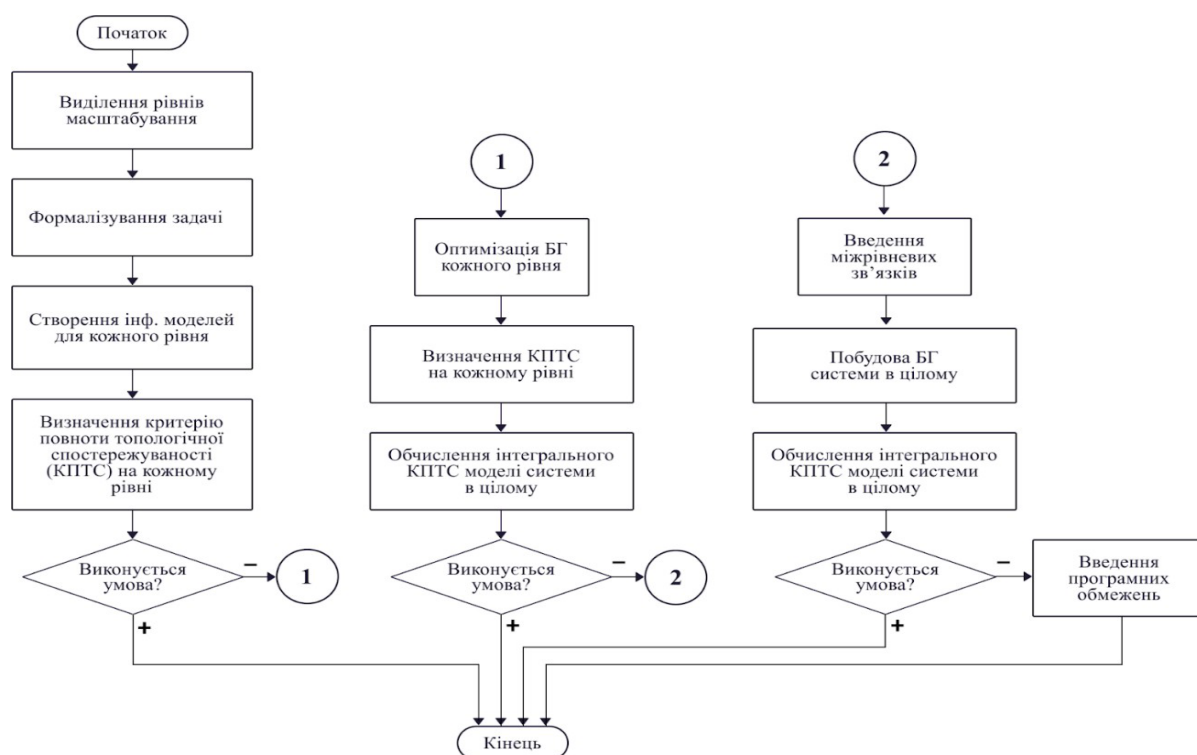


Рис. 2.8. Блок-схема алгоритму методу оптимізації інформаційних моделей масштабованих у просторі багаторівневих аналітичних вебсистем за критерієм повноти їхньої топологічної спостережуваності

2.5. Висновки до розділу 2

У цьому розділі розроблено загальну концепцію та формалізацію багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю, яка забезпечує оптимізацію цих систем в різних предметних областях. Розглянуто задачу оптимізації багатозв'язних багаторівневих систем з невизначеністю, що базується на максимізації інтегрального критерію з використанням інформаційних та інтелектуальних технологій. Сформульовано узагальнену постановку задачі оптимізації таких систем та обґрунтовано методологію її розв'язання в межах системного аналізу. Охарактеризовано розроблений автором математичний апарат, який дає змогу формалізувати невизначеності та багаторівневі взаємозв'язки, забезпечуючи ефективне розв'язання задач оптимізації. Практичну реалізацію методології продемонстровано на прикладах автоматизованого генерування макетів графічних об'єктів, побудови структурно-логічних схем освітніх програм і розробки аналітичних вебсистем.

Удосконалено метод оптимізації параметрів графічних і текстових елементів на графічних об'єктах (афіш, постерів тощо) як багаторівневих системах, який на основі передтренованої інтелектуальної моделі та частини заданих параметрів, визначає оптимальні значення інших параметрів, що дозволяє одночасно підвищити якість цих об'єктів та скоротити час на їх проєктування.

Удосконалено метод інтелектуальної оптимізації темпоральної упорядкованості текстових об'єктів у багаторівневих системах, за рахунок нового критерію темпоральної спрямованості. Цей критерій дозволяє сформулювати рекомендації для різного рівня ієрархії текстових об'єктів, що, в цілому, дозволить пришвидшити проєктування та якість цих об'єктів. Запропоновано комплексний 4-етапний підхід до аналізу та темпорального впорядкування змісту освітніх програм. Розроблено методику виявлення та групування ключових понять на основі аналізу освітніх компонентів, а також створено алгоритм визначення темпоральних відносин дисциплін на основі аналізу процесів життєвого циклу. Такий підхід забезпечує системність та повноту аналізу освітніх

програм. Зокрема для вирішення цих задач було розроблено нейромережевий підхід до визначення темпоральної спрямованості в текстах, що не містять явних часових маркерів а також додаткові модулі вилучення визначень слів з контексту та класифікації темпоральних фраз. Введено новий термін "темпоральна спрямованість", який відображає ймовірнісний підхід до оцінювання порядку появи слів на основі статистичних закономірностей у текстових даних. Запропонований підхід використовує глибокі нейронні мережі для моделювання ймовірності того, що одне слово з'являється раніше за інше, шляхом попарного порівняння слів у датованих текстах.

Вперше для багаторівневих багатозв'язних інформаційних систем, здатних до оброблення даних на різних рівнях просторової деталізації, розроблено новий метод максимізації топологічної спостережуваності моделей, який дозволяє прискорити проєктування топологічно повністю спостережуваних систем. Метод може бути застосований і до багаторівневої інформаційної системи, дані якої не прив'язані в часі. За результатами такого аналізу з'являється можливість введення програмних обмежень у функціональності вебсистеми, щоб уникнути появи запитів чи залежностей, не забезпечених даними, через неповну топологічну спостережуваність окремих (чи усіх) рівнів системи.

Кожен критерій нормалізований, що уможлиблює їхню композицію у комплексну цільову функцію. Розроблено спеціалізовані методи оптимізації для трьох предметних областей узгоджені з базовою моделлю: алгоритм рекомендаційного макетування на основі моделі машинного навчання та прогнозу показника залученості; нейромережевий підхід для оцінювання темпоральної спрямованості, який надає можливість впорядковувати пару освітніх компонентів з відносним впорядкуванням; метод максимізації топологічної спостережуваності з алгоритмом додавання внутрішньорівневих та міжрівневих залежностей.

Наступним кроком буде розроблення інтелектуальної інформаційної технології оптимізації багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю.

Наведені в розділі результати були висвітлені в таких роботах: [1, 2, 3, 4, 6].

РОЗДІЛ 3 СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМ

Відповідно до поставлених задач та з урахуванням наведених у розділі 2 методів розробимо інтелектуальну технологію оптимізації параметрів багаторівневих систем.

3.1. Алгоритм та реалізація інформаційної технології оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах

Пропонується такий алгоритм реалізації розробленої інформаційної технології оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах:

1. Формалізація системи — обрана для оптимізації система формалізується згідно із загальною концепцією та формалізацією багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю. Визначаються елементи, їх параметри, структура системи: кількість рівнів, визначені внутрішні та міжрівневі зв'язки, задані обмеження.
2. Збір даних — формуються відповідні спеціалізовані набори даних: набори графічних об'єктів, що містять характеристики графічних та текстових елементів, набори даних для впорядкування та набори впорядкованих текстів.
3. Створення та навчання спеціалізованих інтелектуальних моделей. Для методів оптимізації параметрів макетування графічних об'єктів та оптимізації темпоральної впорядкованості створюються моделі ШІ. Навчання інтелектуальних моделей з використанням оптимізації гіперпараметрів задля підвищення точності передбачень.
4. Вибір методів оптимізації — користувач визначає який метод оптимізації використовувати для оптимізації на вибір. Можна обрати один або декілька з наступних методів:

- 1) метод оптимізації параметрів макетування графічних об'єктів;
 - 2) метод оптимізації темпоральної впорядкованості текстових елементів;
 - 3) метод оптимізації повноти топологічної спостережуваність моделі.
5. Оптимізаційний цикл.
- 5.1. Для графічних об'єктів передтренована інтелектуальна модель за частиною заданих параметрів визначає оптимальні значення інших параметрів.
 - 5.2. Для текстових елементів використовується інтелектуальна модель для передбачення темпоральної спрямованості між текстовими елементами.
 - 5.3. Для аналітичних вебсистем вираховується показник повноти топологічної спостережуваності. Оптимізація відбувається шляхом додавання нових внутрішньорівневих та міжрівневих зв'язків.
6. Генерування рекомендацій — в результаті оптимізації формуються рекомендації.
7. Погодження змін до системи — користувач вносить певні із запропонованих змін.
8. Повторення циклу або завершення — за потреби запускається додатковий ітераційний прохід, інакше процес завершується.

Блок-схема алгоритму інформаційної технології оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах зображена на рисунку 3.1.

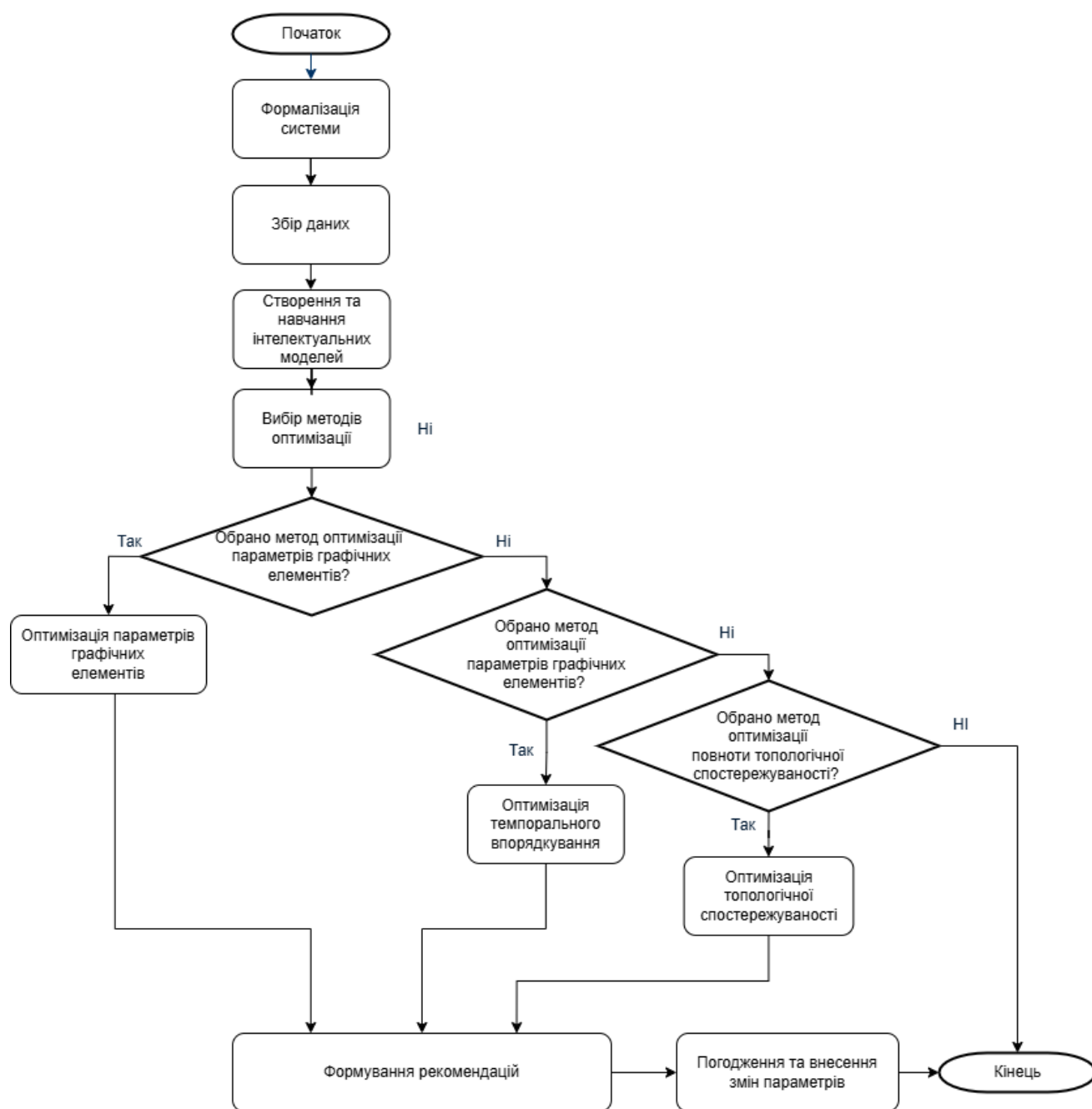


Рис. 3.1. Блок-схема алгоритму інформаційної технології оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах

Користуючись UML-термінологією, побудована технологія передбачає наявність 3-х акторів. Користувач – ініціює створення або редагування проєкту оптимізації, задає шаблони, формалізує предметну область, визначає структуру системи, налаштовує параметри оптимізації, аналізує одержані рекомендації. Адміністратор технології – конфігурує каталоги даних, керує користувачами, виконує резервування й розгортання оновлених компонентів, тобто обслуговує систему та виконує адміністрування. ІІІ-фахівець створює спеціалізовані моделі

штучного інтелекту, збирає навчальні дані та налаштовує процес навчання. Поділ на узагальнених акторів робить технологію універсальною незалежно від того, яка предметна область обрана і яка багаторівнева система оптимізується, усі процеси ініціює «користувач-аналітик».

Користувач-аналітик ініціює новий або завантажує наявний проєкт оптимізації, вказує предметну область, визначає елементи системи та їх параметри, визначає загальні параметри системи: кількість рівнів, міжрівневі зв'язки та обмеження.

Користувач визначає які саме методи оптимізації він хоче використати у своїй системі: оптимізацію параметрів графічних елементів, темпоральної впорядкованості чи повноти топологічної спостережуваності. Технологія дозволяє обрати всі, або деякі з них.

Користувач отримує рекомендації: діаграми важливості ознак, згенеровані шаблони макетів графічних об'єктів, пропозиції по зміні порядку елементів структурно-логічних схем, та пропозиції щодо додавання міжрівневих залежностей в математичні модулі аналітичних системах.

На рисунку 3.2 зображена UML-діаграма варіантів використання.

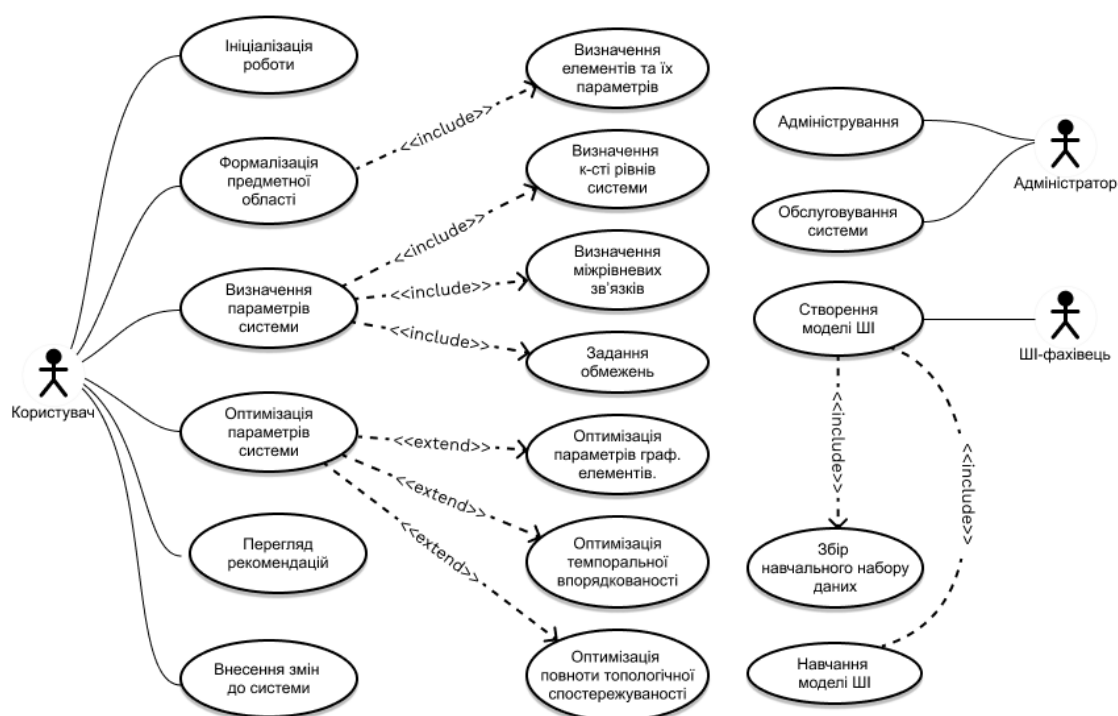


Рис. 3.2. UML-діаграма варіантів використання

3.2. IT-інфраструктура інтелектуальної технології

Інформаційну технологію оптимізації багаторівневих систем побудовано за архітектурою «Service – Plugin». Такий підхід дає змогу відокремити сталі функції ядра від змінних алгоритмів, що відповідають окремим предметним областям.

API-шлюз реалізує єдину точку входу до всієї технології. На кожен HTTP чи gRPC-запит він накладає політики автентифікації: JSON Web Token, OAuth 2.0 тощо. Реєструє спробу доступу в журнал безпеки та, згідно з маршрутною таблицею, переспрямовує запит у відповідний мікросервіс. Таким чином досягається узгоджене керування сесіями для користувачів, незалежно від того, наскільки відрізняються їхні предметні області.

Сервіс керування доступом зберігає структуру ролей «користувач-аналітик», «експерт предметної області» і «адміністратор технології». Для кожної ролі він підтримує матрицю дозволів CRUD-операцій над проєктами, даними й конфігураціями плагінів. При зміні політик компонент безперервно оновлює маркери в кеші, тож рішення про авторизацію приймається детерміновано й із незначною затримкою.

Сховище даних організовано у форматі Data Lake + Metadata Hub. Первинні файли, такі як CSV, GeoJSON та PNG зберігаються в об'єктній підмоделі, тоді як структуровані таблиці оптимізаційних експериментів – у колонки бази типу «дані-мост» (PostgreSQL+PostGIS). Для кожного набору автоматично фіксуються контрольні суми, час завантаження й зв'язок із конкретним проєктом.

Оптимізатор (Runner) – це статично слабкозв'язаний сервіс, який вилучає з брокера повідомлень запис «Задача», після чого під'єднує потрібний плагін через інтерфейс SPI. Runner забезпечує життєвий цикл обчислень: десеріалізацію параметрів, ітераційний пошук гіперпараметрів, моніторинг прогресу та передачу проміжних результатів у сховище. Такий підхід уможливорює паралельне виконання декількох GPU- чи CPU-процесів без блокування ресурсів ядра.

Брокер повідомлень функціонує на основі протоколу AMQP. Він містить дві логічні черги: «Tasks» для вхідних запитів оптимізації та «Results» для подій завершення. Це дозволяє асинхронно масштабувати Runner-екземпляри: за збільшення черги «Tasks», Kubernetes додає POD-копії, виключно тоді, коли це дійсно необхідно.

Сервіс візуалізації та експорту перетворює сирі дані в графічні об'єкти. Для макетів афіш формується SVG-шаблон із координатами блоків, для освітніх програм – упорядкована JSON-структура чи блок-схема, а для аналітичних систем – GraphML-граф зі збереженим критерієм J. Крім того, компонент генерує узгоджені PDF-звіти, які містять діаграми важливості ознак, порівняльні матриці.

Плагін макетування впроваджує метод компоновання текстових і графічних елементів. Він приймає параметри обмежень, виконує класифікацію за попередньо натренованою моделлю штучного інтелекту (наприклад дерево рішень) і повертає набір рекомендацій для розмітки, додаючи прогнозований показник залучення.

Плагін темпорального упорядкування використовує показник темпоральної спрямованості. Алгоритм формує матрицю NTD-значень, агрегує статистичні ознаки та за допомогою градієнтного бустингу визначає найкращу послідовність освітніх компонентів, що мінімізує хронологічні колізії.

Плагін топологічної спостережуваності автоматизує побудову та оптимізацію інформаційних моделей. Для заданої математичної моделі будується біхроматичний граф та оптимізується для пошуку максимального паросполучення з можливістю додавання міжрівневих залежностей, поки критерій J досягне максимального значення. Вихідний файл експортується в GraphML для подальшої інтеграції у вебсистеми.

Послідовність взаємодії починається із запиту користувача до API-шлюзу. Після перевірки прав доступу система імпортує дані до сховища та реєструє задачу у брокері. Runner підіймати потрібний плагін, виконує оптимізацію й повертає об'єкт «Result». Сервіс візуалізації отримує подію, зчитує артефакти,

формує звіт, зберігає його у Data Lake та, за потреби, надсилає до зовнішньої системи.

Перевага архітектури полягає в тому, що ядро залишається незмінним незалежно від предметної області, тоді як нові методи оптимізації додаються шляхом розробки окремого плагіна. Це забезпечує масштабованість і гнучкість, необхідні для практичного застосування результатів дисертаційного дослідження в маркетингу, освіті та вебаналітиці. У цілому гібрид «Service–Plugin» задовольняє вимогу щодо універсальності технології та відповідає критеріям надійності, викладеним у розд. 2.

Структура інтелектуальної технології зображена на рисунку 3.2.

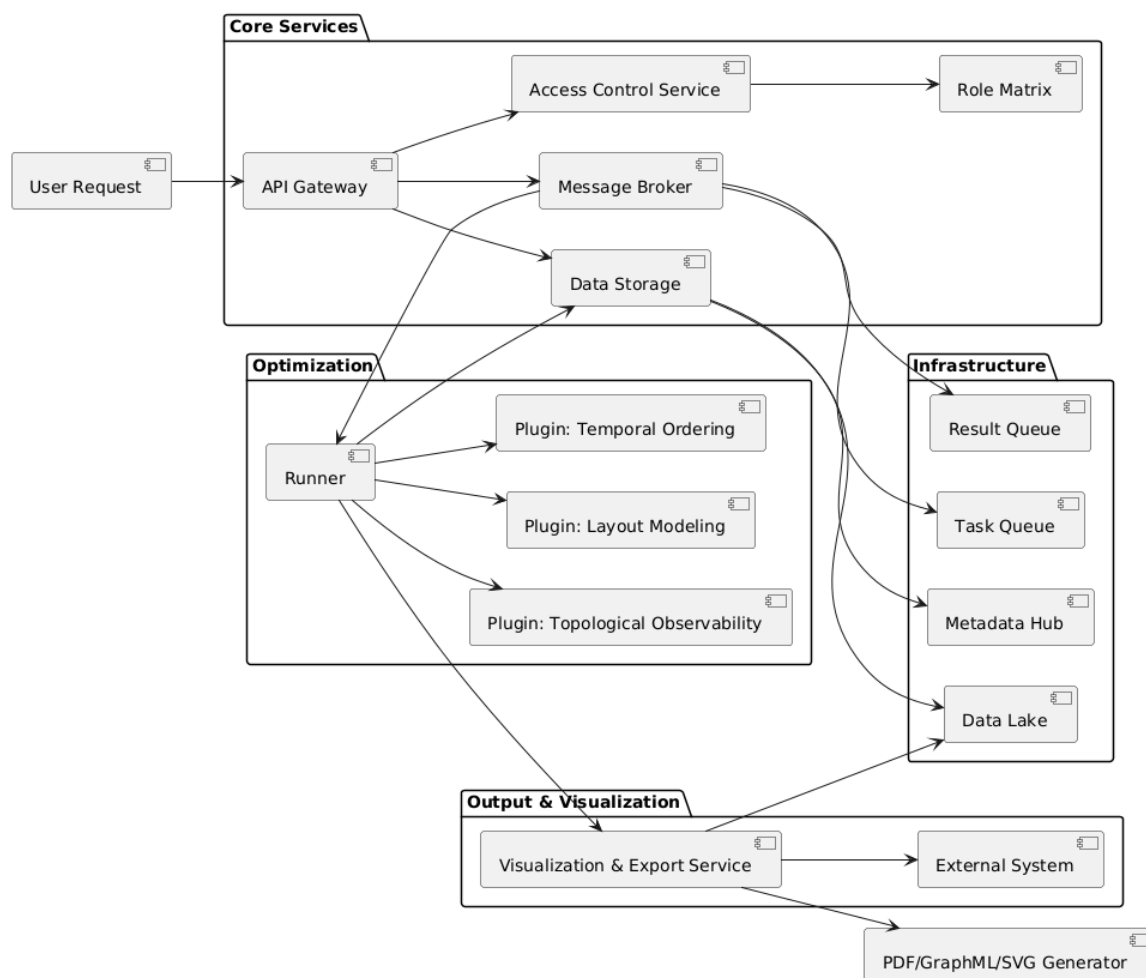


Рис. 3.3. IT-інфраструктура інформаційної технології оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах у нотації UML-діаграми компонентів

3.3. Розроблення рекомендацій щодо застосування створеної інтелектуальної технології

Рекомендується застосовувати створену інтелектуальну технологію у 6 етапів:

1. Формулювання системної ієрархії та критеріїв оптимізації. На початковому кроці користувач описує множину рівнів своєї багаторівневої системи, фіксує типи елементів кожного рівня (графічні, текстові тощо) та визначає, які параметри залишаються невизначеними. Одночасно задається інтегральний показник якості. Такий підхід забезпечує незалежність технології від конкретної доменної семантики.
2. Уніфікація та завантаження даних. Первинні набори параметрів імпортуються у Data Lake в універсальних форматах CSV/JSON/GeoJSON із супровідними метаданими. Процедура валідації зводиться до перевірки схемної сумісності та автоматичного приведення категоріальних ознак до внутрішніх словників. Така стандартизація гарантує, що різномірні джерела (локальні файли, REST-API, СУБД) обробляються однаково незалежно від предметної області. Для уніфікації слід застосовувати технічні засоби для обробки природної мови, таких як SpaCy та NLTK, моделі BERT та бібліотеку bert-extractive-summarizer [8]. Також, можливим є застосування технологій відстеження траєкторії погляду задля збільшення кількості деталізації навчальних даних, що може забезпечити високий рівень точності моделей [9].
3. Конфігурування змінних та обмежень. Користувач у графічному інтерфейсі або через API задає діапазони для кожного невизначеного параметра, тип квантування (безперервний, дискретний або ж булевий) та вибирає набір плагінів, які повинні брати участь в оптимізації. Каталог плагінів не обмежується 3-ма прикладами приведеними в цьому дослідженні і може бути масштабований і для інших предметних

областей; будь-який алгоритм, що реалізує інтерфейс SPI, може бути подано до системи у вигляді контейнера й миттєво під'єднано до ядра.

4. Запуск ітеративного процесу оптимізації. Runner-сервіси асинхронно вилучають завдання з черги «Tasks», ініціюють вибраний набір плагінів і виконують ітераційний пошук гіперпараметрів. Весь прогрес фіксується у вигляді подій «Result», що містять контрольні суми, seed ГПВ та версії плагінів, що дозволяє відтворити досліди у будь-якому контексті.
5. Аналіз й інтерпретація результатів. Сервіс візуалізації перетворює сирі виходи плагінів у узагальнені представлення: heat-карти важливості ознак, графи міжрівневих залежностей, рекомендаційні списки параметрів. Формати SVG, JSON та GraphML обрано з огляду на їхню доменну нейтральність і сумісність з універсальними інструментами (D3.js, Gephi, Mermaid). Користувач одержує інтерактивний звіт, що дозволяє порівняти поточний розв'язок із базовими або попередніми ітераціями.
6. Експорт і інтеграція в зовнішні середовища. Оптимізовані конфігурації експортуються через кінцеві точки REST або як файли стандартних форматів (PDF, PNG, GraphML, CSV), придатні для подальшого використання в CAD-системах, системах керування навчальним контентом чи аналітичних платформах. Кожен експорт супроводжується метаданими: ідентифікатор проєкту, дата, хеш плагіна, що уможливорює трасування змін незалежно від галузі застосування.

Дотримання цих 6 етапів дає змогу застосувати розроблену інтелектуальну технологію для оптимізації інших багаторівневих багатозв'язних систем з графічними та текстовими елементами без необхідності у зміні базових сервісів ядра.

3.4. Експериментальна перевірка на реальних прикладах та порівняння ефективності

Мета дисертаційного дослідження — пришвидшити проєктування багаторівневих багатозв'язних систем і, водночас, підвищити їхню якість, за рахунок усунення невизначеності у виборі параметрів текстових і графічних елементів.

Порівнюємо ефективність роботи створеної інтелектуальної технології з аналогами на прикладі оптимізації графічного об'єкта (афіші). Для цього з сайту агрегатора візьмемо приклад афіші, яка опублікована вже певний довгий проміжок часу, так, щоб фактичне відношення кількості вподобань до кількості переглядів якомога точніше відповідала оцінці якості даної афіші. Вилучимо всі ознаки афіші, які використовувалися в даному дослідженні та, за допомогою інтелектуальної моделі передбачення оцінки, визначимо прогнозоване значення відношення кількості вподобань до кількості переглядів. Це дозволить оцінити адекватність моделі передбачення, якщо абсолютне значення такого параметра буде близьким до фактичного значення. Після цього, задаючи моделі певні часткові параметри даної афіші, вилучимо декілька варіантів альтернативного макетування та спрогнозуємо їхні показники якості. Порівнявши їх з оригінальним значенням відношення кількості вподобань до кількості переглядів, можна буде оцінити переваги застосування інтелектуальної технології над традиційними методами макетування.

Для дослідження з сайту Behance.net (скорочене посилання: <https://behance.net/gallery/10132997/Poster-Design>) було обрано афішу, яка була опублікована 31 липня 2013 року (12 років тому) (рис. 3.4а). За цей час вона набрала 22 вподобання з 795 переглядів. Отже, показник (2.11) для цієї афіші становить 2,77%. На основі цієї афіші розмітимо схему її макетування (рис. 3.4б) та, за допомогою програми Adobe InDesign (з використанням інструменту Frame), визначимо числові характеристики кожного текстового блока афіші (рис. 3.5).



Рис. 3.4. Приклад для оптимізації:
 а) обрана з сайту-агрегатора Behance.net афіша
 (<https://www.be.net/gallery/10132997/Poster-Design>)
 б) її оригінальна схема макетування

Загальні характеристики										
№	Кількість лайків	Кількість переглядів	Оцінка	Кількість текстових блоків	Кількість шрифтів	Максимальний розмір кегля, мм	Мінімальний розмір кегляб, мм	Кількість пусого місця, б		
52	22	794	2,77%	3	1	31,3 mm	4,8 mm	4		
Заголовок										
Товщина шрифту	Тип шрифту	Курсив	Положення X	Положення Y	Ширина блоку	Висота блоку	Викривлення	Поворот блоку	Вирівнювання тексту	Розмір
light	sans-serif	FALSE	103,2 mm	21,9 mm	65,5 mm	19,8 mm	0°	0°	center	31,3 mm
Адреса										
Товщина шрифту	Тип шрифту	Курсив	Положення X	Положення Y	Ширина блоку	Висота блоку	Викривлення	Поворот блоку	Вирівнювання тексту	Розмір
light	sans-serif	FALSE	103,4 mm	47,1 mm	65,0 mm	4,8 mm	0°	0°	center	4,8 mm
Дата										
Товщина шрифту	Тип шрифту	Курсив	Положення X	Положення Y	Ширина блоку	Висота блоку	Викривлення	Поворот блоку	Вирівнювання тексту	Розмір
light	sans-serif	FALSE	103,4 mm	38,6 mm	65,0 mm	4,8 mm	0°	0°	center	4,8 mm

Рис. 3.5. Параметри текстових блоків афіші з рис. 3.4

За цими параметрами з використанням інтелектуальної моделі дерева рішень передбачений показник якості складає 3.846 %, що більше від реального значення всього на 1.08 %, що свідчить, що дана модель передбачення – адекватна.

Залишивши певні параметри без змін та прибравши інші, виявимо декілька альтернативних варіантів макетування та спрогнозуємо їх показники якості. Згенеровані схеми макетування та зроблені на їх основі афіші, у порівнянні з оригінальною роботою, зображено на рис. 3.6.

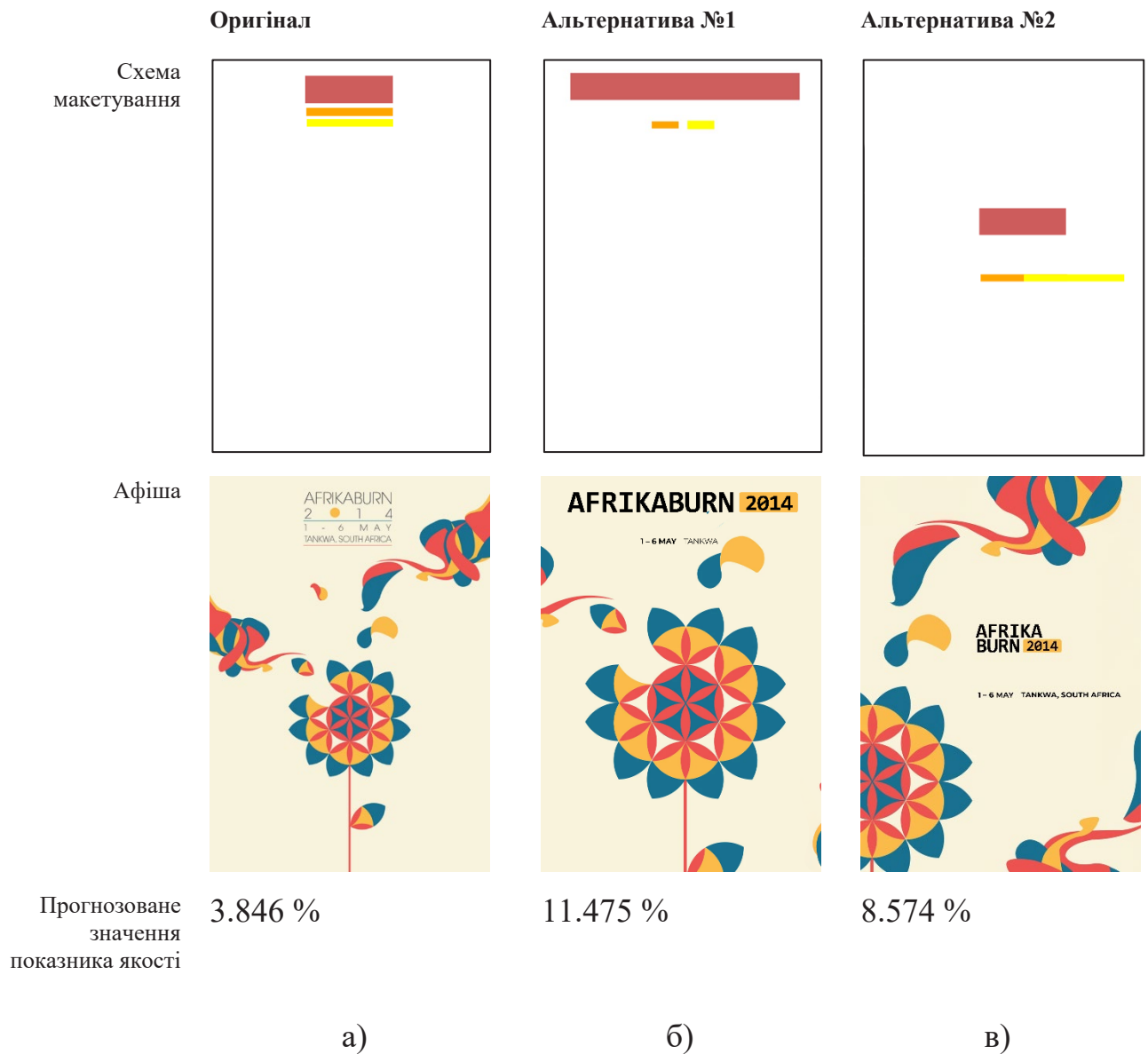


Рис. 3.6. Порівняння оригінальної афіші (а) з макетованими за альтернативами № 1 (б) та № 2 (в) за схемами, запропонованими в результаті використання інтелектуальної технології

Наприклад для альтернативи №1 було зафіксовано висоту текстових блоків та позицію по висоті заголовка події, а ширина та розташування текстових блоків

на макеті, а також характеристики шрифтів, залишилися невизначеними. Для альтернативи №2 додатково зняті обмеження на позицію заголовку події.

На прикладі подібного порівняння можна зробити висновок про те, що використання розробленої технології підвищує якість макетованих графічних об'єктів на 4.728 % (альтернатива №2), а в деяких випадках і на 7.629 % (альтернатива №1).

Проведемо порівняльний аналіз тривалості проєктування багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю на прикладі макетування графічних об'єктів із використанням запропонованої технології та за традиційними підходами. Охарактеризуємо один із можливих алгоритмів макетування графічних об'єктів за традиційними та із застосуванням інтелектуальної технології. Для цього будемо приблизно оцінювати час, необхідний для проходження кожного кроку алгоритму. Тривалість етапів узгодження технічного завдання із замовником, встановлення необхідного програмного забезпечення на комп'ютер, а також збирання датасетів та тренування інтелектуальної моделі – належать до передпроектного етапу, тож порівнювати будемо етапи безпосередньо від початку проєктної діяльності над створенням макета афіші.

Підготовчий етап. Написання та редагування тексту та пошук/створення графічних елементів. При використанні традиційного підходу до макетування дизайнер на основі технічного завдання (ТЗ) формує необхідну інформацію для відображення на афіші. Це можуть бути обов'язкові елементи: назва події, її дата, час, місце проведення (далі в обрахунках використовуватимемо кількість елементів афіші $E = 4$); окрім обов'язкових елементів афіші, вона може містити додаткові елементи, такі як: інформація про важливих гостей події, програма події, календар подій (наприклад афіша музичного туру) тощо. Зазвичай, це займає від 10 хв. Оскільки цей етап є спільним в обох технологіях, його не враховуємо під час обрахунку.

Першим етапом процесу макетування є формування композиційної сітки та первинного розташування текстових і графічних елементів. При використанні традиційного підходу до макетування афіш з 4-х елементів початкова схема

макетування формується за 300 с., а завершена форма композиції може бути сформована за n спроб, де кожна спроба може тривати 150 с, а отже, загальна тривалість цього етапу може бути $280 \text{ с.} + (150 \text{ с.} * n)$, що для 10 спроб буде 1780 с. При використанні розробленої технології цю тривалість можна зменшити до 120 с., оскільки ця технологія дозволяє, зазначивши початкові розміри принаймні одного текстового елемента (це може тривати 35 с.), запропонувати його розташування та ймовірні розташування інших елементів. При уточненні координат та розмірів наступних елементів можна отримати загальну тривалість виконання цього етапу, яка буде залежати від кількості елементів та спроб зміни їх розташування $35 \text{ с.} + (E * n) * 35 \text{ с.}$, що для 10 спроб буде 1435 с.

Другим етапом є підбирання шрифтових пар. В більшості проєктів цей етап забирає велику кількість часу, що зумовлено великою кількістю шрифтів та їх поєднань. Наприклад, бібліотека шрифтів Adobe Fonts містить близько 30 000 шрифтів, кожен з яких має свій тип (T) (наприклад «із зарубками», «без зарубок», «рукописний» та «декоративний») та вагу (W) (наприклад тонкий, звичайний, напівжирний), та спосіб нанесення (I) (наприклад прямий чи курсив). Для спрощення обрахунку не будемо враховувати усі шрифти, але припустимо, що беремо лише по одному шрифту для кожного поєднання «тип-вага». Тривалість підбору шрифтів при використанні традиційного підходу до макетування рахується за формулою:

$$\delta * T * W * E * I = 4 \text{ с.} * 4 * 3 * 4 * 2 = 384 \text{ с.},$$

де δ – це тривалість оцінювання наявної комбінації шрифтів та переходу до наступної, що може тривати 4 с.; T – кількість типів шрифтів, для прикладу взято 4 основні типи («із зарубками», «без зарубок», «рукописний» та «декоративний»); W – кількість типографських ваг шрифту, для прикладу взято 3 найпопулярніші ваги (тонкий, звичайний, напівжирний). При використанні розробленої технології цей час можна скоротити, оскільки при виконанні ще попереднього етапу формується рекомендація щодо використання шрифтів, який, зважаючи на лінійні розміри текстових блоків та поєднання з іншими текстовими елементами, досягне вищого значення показника залученості. Загалом, час дизайнера піде на

погодження щодо вибору типу та ваги шрифту, і навіть у ситуації, коли погоджено лише 1 з 4 рекомендацій щодо вибору шрифту для 4 елементів афіші:

$$\delta * T * W * (E - 1) * I = 4 \text{ с} * 4 * 3 * 3 * 2 = 288 \text{ с.}$$

Завершальний етап макетування – це прикрашання афіші декоративними елементами (додаванням векторних ілюстрацій, символів, фотографій тощо), а також підготовка до друку чи до публікації в мережі. Даний етап як для традиційних методів, так і для підходу з використанням розробленої технології, мають однаковий час, який залежить від побажань замовника, майстерності дизайнера. Оскільки цей етап є спільним в обох технологіях, його не враховуємо під час обрахунку.

Загальний час виконання задачі макетування по кожному етапу з використанням традиційного підходу до макетування, у порівнянні з підходом з використанням розробленої технології, зображено у табл. 3.1.

Табл. 3.1. Порівняння тривалості виконання задачі макетування афіші з 4-х елементів з використанням традиційного підходу з тривалістю робіт з використанням розробленої технології

Назва етапу	Традиційний підхід	Роботи з використанням розробленої технології
Перший етап. Формування композиційної сітки	1780 с.	1435 с.
Другий етап. Підбирання шрифтів, їх типів, ваг та способів нанесення	384 с.	288 с.
Загальна тривалість	2164 с.	1723 с.

Використання інтелектуальної технології оптимізації багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю дає зменшення часу проектування на 20.37 %, що підтверджує можливість розробленої інтелектуальної інформаційної технології перевершувати традиційні підходи не тільки за критерієм якості, але й швидкості проектування.

Це робить запропоновану технологію придатною для широкого впровадження у практику проектування багаторівневих багатозв'язних систем із текстовими та графічними об'єктами, де критичними є як якість систем (чи продуктів), так і швидкість їх проектування.

3.5. Висновки до розділу 3

У цьому розділі розроблено інтелектуальну інформаційну технологію оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах, яка, за рахунок мультимодального підходу до формалізації параметрів ієрархічно структурованої інформації про ці об'єкти у багаторівневих системах, забезпечує підвищення якості та швидкості проектування цих систем. Запропоновано алгоритм та реалізація технології та побудовано UML-діаграму варіантів використання технології.

Розроблено IT-інфраструктуру інтелектуальної технології та подано її у використаннім нотації UML-моделі компонентів. Обрано побудову інфраструктури за архітектурою «Сервіс-плагін», що поєднує ядро мікросервісів з набором зовнішніх плагінів, які реалізують спеціалізовані методи оптимізації для різних предметних областей. Така архітектура забезпечує слабке зв'язування компонентів, горизонтальне масштабування та можливість підключення нових алгоритмів без модифікації ядра.

Розроблено рекомендації щодо застосування створеної інтелектуальної технології. Запропоновано 6-етапну методику впровадження. Чітке розмежування етапів гарантує відтворюваність експериментів і релевантність результатів незалежно від конкретної предметної області чи формату вхідних даних.

На реальних прикладах випробувано інтелектуальну інформаційну технологію оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах, яка забезпечує підвищення якості та швидкості проектування цих систем. Порівняння з аналогами показало скорочення сумарного часу проектування систем у середньому на 20.37 % щодо традиційних підходів та збільшення прогнозованого якості на 4.72–7.62 %.

Наведені в розділі результати були висвітлені в таких роботах: [8, 9].

РОЗДІЛ 4 ПРИКЛАДНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

4.1. Застосування розробленої технології у макетуванні афіш

Для проведення дослідження створено датасет з визначеними у запропонований вище спосіб параметрами афіш з текстом різними мовами, передусім українською та англійською, на основі таких ресурсів:

- <https://www.behance.net> (компанія «Adobe»);
- <https://dribbble.com>;
- <http://www.deviantart.com>.

Для створення датасету використовується вебсервіс «Google Sheets», що дозволяв полегшити введення інформації за допомогою функцій перевірки даних та можливості одночасно працювати декільком користувачам, які виступали як експерти, що мають досвід роботи у сфері поліграфічного дизайну понад 5 років. За допомогою цієї функції є можливість не писати в комірку датасету значення власноруч, а обрати його зі списку.

Для визначення характеристик текстових блоків на макетах афіш було використано програму Adobe InDesign, в якій, за допомогою інструменту Frame, визначено числові характеристики кожного текстового блока афіш (див. табл. 1.2.). У табл. 4.1 наведено приклад запису в датасеті, що відповідає афіші, зображеній у другому розділі (рис. 2.1).

Табл. 4.1. Приклад запису

Загальні характеристики										
№	Кількість вподобань	Кількість переглядів	Оцінка	Кількість текстових блоків	Кількість шрифтів	Максимальний розмір кегля, мм	Мінімальний розмір кегля, мм			Кількість пустого місця, б
5	215	1614	13 %	4	2	48	10			3
Характеристики блока заголовка										
Товщина шрифту	Тип шрифту	Курсив	Розташування X, мм	Розташування Y, мм	Ширина	Висота	Викривлення	Поворот	Вирівнювання	Розмір кегля, мм
тонкий	рукописний	1	105	148,5	185	49,5	0	0°	з правого краю	11,667
Характеристики блока адреси										
Товщина шрифту	Тип шрифту	Курсив	Розташування X, мм	Розташування Y, мм	Ширина	Висота	Викривлення	Поворот	Вирівнювання	Розмір кегля, мм
товстий	без засічок	0	180	260	20	30	0	0°	з правого краю	11,667
Характеристики блока часу										
Товщина шрифту	Тип шрифту	Курсив	Розташування X, мм	Розташування Y, мм	Ширина	Висота	Викривлення	Поворот	Вирівнювання	Розмір кегля, мм
товстий	без засічок	0	180	235	10	30	0°	0°	з правого краю	11,667
Характеристики блока дати										
Товщина шрифту	Тип шрифту	Курсив	Розташування X, мм	Розташування Y, мм	Ширина	Висота	Викривлення	Поворот	Вирівнювання	Розмір кегля, мм
звичайний	без засічок	0	180	225	10	30	0°	0°	з правого краю	11,667

Оскільки кількість вподобань та переглядів — це складові критерію (2.11), то слід видалити ці характеристики з датасету, замінивши їх на характеристику J.

Оскільки для аналізу даних та створення моделей класифікації необхідно, щоб характеристики були числовими, проведено попередню обробку даних в датасеті. Всі категоріальні характеристики (товщина шрифту, наявність курсиву, тип шрифту, та ін.) замінено на цілочислові значення. Наприклад, значення товщини шрифту в цьому наборі даних – «Тонкий», «Звичайний» та «Напівжирний» — замінені на цілі числа від 1 до 3 (рис. 4.1).

<i>number</i>	<i>likes</i>	<i>views</i>	<i>Mark1</i>	<i>countsOfBlocks</i>	<i>cntF</i>	<i>maxSize</i>	<i>minSize</i>	<i>empty</i>	<i>backFillColor</i>	<i>title_weight</i>	<i>...</i>	<i>date_styleOfFont</i>	<i>d</i>
5	150	1614	9294	7	5	482	25	3	0	0	...	0	
6	200	1614	12392	9	6	47	25	2	0	0	...	0	
9	2	722	277	4	3	15	33	4	0	1	...	1	
10	2	97	2062	10	3	16	30	1	0	0	...	3	
12	5	99	5051	3	2	10	67	2	1	0	...	0	
14	2	41	4878	11	2	16	28	1	0	0	...	1	
15	1172	135756	863	7	2	12	19	1	0	1	...	1	
16	594	39937	1487	7	1	14	53	2	0	0	...	1	

Рис. 4.1. Фрагмент створеного датасету

Застосування моделей LGBM, дерева рішень, логістичної та лінійної регресії дозволило побудувати діаграму важливості ознак (рис. 4.2).

Розроблена програма на Python для реалізації запропонованої інтелектуальної технології [97]. Застосовано моделі-класифікатори на основі дерев рішень, які дозволяють визначити лайки як класи, що відповідають певним сукупностям параметрів. Але у дерев рішень є ще одна функція — по них можна відносити до цих класів й інші комбінації параметрів, які чимось схожі на ті, що були у тренувальній вибірці. По суті, це передбачення більше відповідає кластеризації афіш за класами якості.

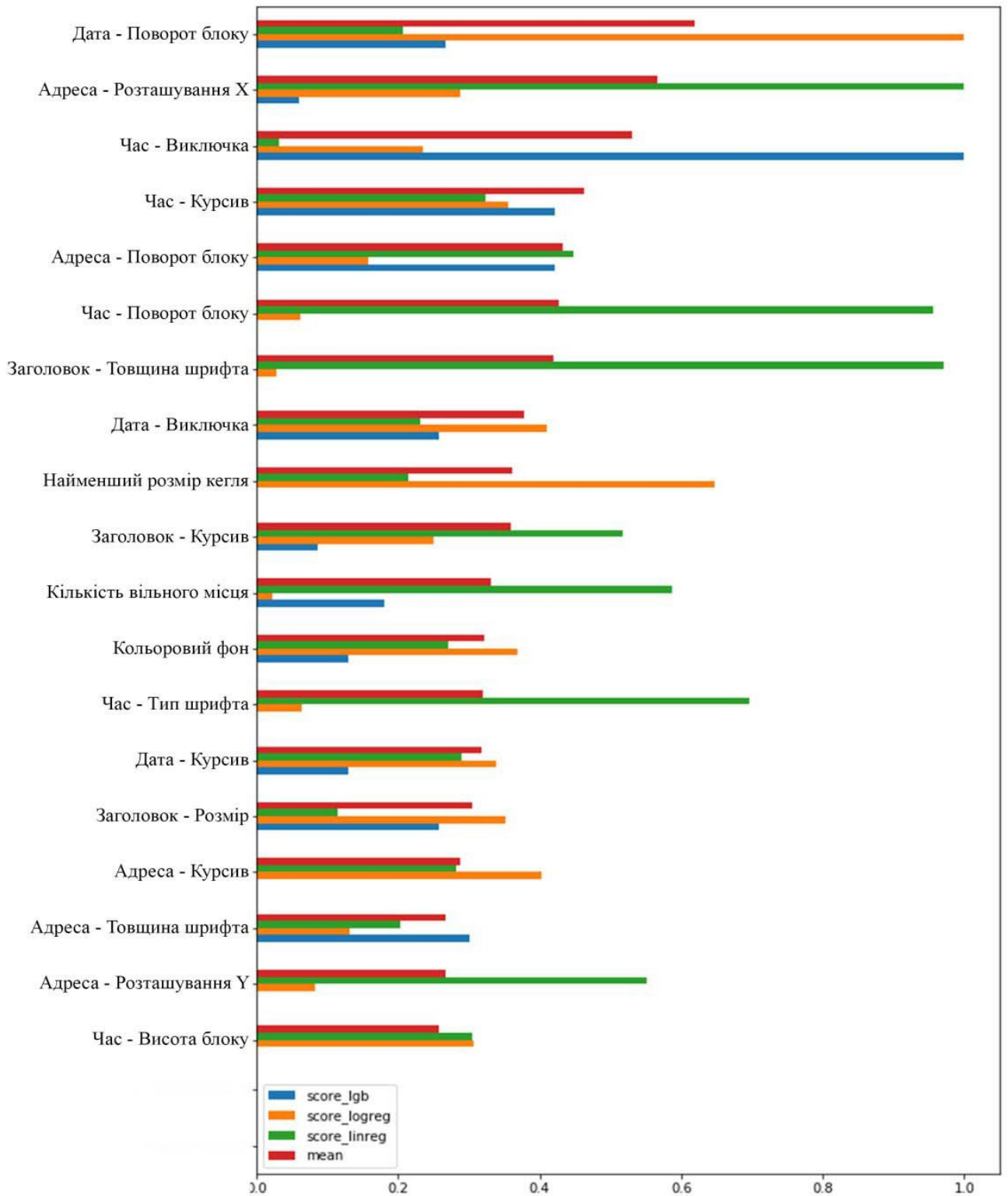


Рис. 4.2. Діаграма важливості ознак

За основну модель пропонуємо брати дерево рішень (Decision Tree), що реалізується за допомогою Python-бібліотеки Scikit-learn. Перевагою використання дерева рішень як інструмента класифікації в тому, що на виході класифікації маємо класифікацію, яку легко інтерпретувати. Налаштування

На основі цих обмежень знайдено 3 листя, які задовольняють задані обмеження (рис. 4.5).

Серед них вибирається листя з індексом 12, позаяк значення цільової характеристики (поле `class`) — максимальне. За заданим шляхом (поле `path`) формуються рекомендації (рис. 4.6).

```
input_param = [
    ("title_W", 169), ("title_H", 45),
    ("adress_W", 91), ("adress_H", 37),
    ("time_W", 30), ("time_H", 10),
    ("date_W", 101), ("date_H", 10)
]
```

Рис. 4.4. Обмеження параметрів розташування адреси та заголовку афіші

	<i>parent_LR</i>	<i>parent_LR</i>	<i>class</i>	<i>path</i>
12	<i>right</i>	<i>right</i>	2237	0,8,10,12
11	<i>left</i>	<i>left</i>	1171	0,8,10,11
9	<i>left</i>	<i>left</i>	863	0,8,9

Рис. 4.5. Листя, що підходять під задані обмеження

```
Рекомендації:
○ Зробіть показник title_Y > 60.0.
○ Зробіть показник title_styleOfFont <= 0.0.
○ Зробіть показник title_size <= 13.0.
```

Рис. 4.6. Рекомендації

Відповідно до наданих рекомендацій, за допомогою Python-бібліотеки візуалізації даних `Vokey`, синтезуємо розмітку макета (рис. 4.7) [98].

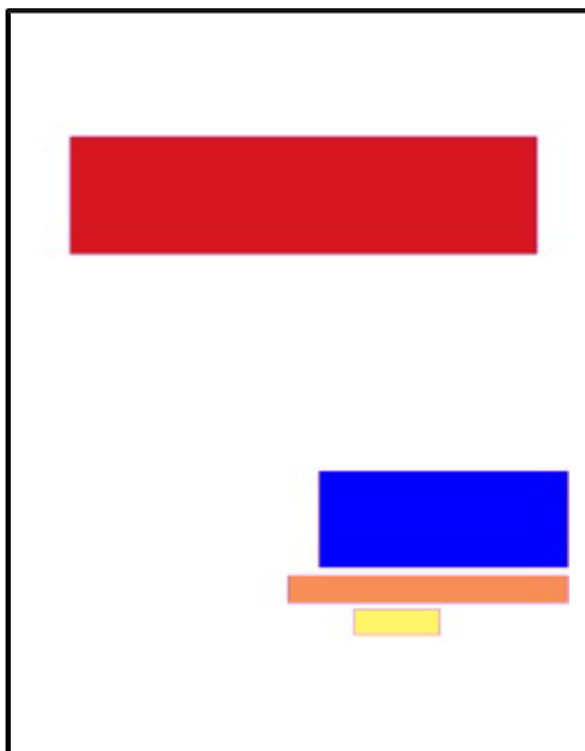


Рис. 4.7. Синтезована розмітка

Відповідно до згенерованої розмітки дизайнер може створити афішу. Приклад цієї афіші можна побачити на рис. 4.8.



Рис. 4.8. Розроблена афіша

Створено програмний продукт, що дає змогу давати рекомендації відповідно до заданих користувачем обмежень щодо параметрів головних текстових блоків та синтезувати розмітку макета на основі рекомендацій. Тестування показало необхідність нарощування датасету для збільшення точності технології.

Крім того, використання розробленої технології корисне для друкарень-видавництв в процесі макетування графічних виробів: постерів, афіш, реклами тощо, що підтверджується Актом впровадження (від 10 січня 2025 року) (Додаток А).

4.2. Застосування розробленої технології в оптимізації освітніх програм

Було розроблено модулі, що відповідають 3 суміжним задачам: темпоральне впорядкування освітніх компонент у структурно-логічній схемі освітньої програми. А також 2 додаткові модулі: класифікації темпоральних фраз для виявлення чи містить текст часові мітки, чи навпаки потребує використання модуля темпоральної впорядкованості, що базується на нейромережевому підході до статистичного впорядкування текстів без явних часових міток; модуль прорахунку темпоральної спрямованості на рівні слів та текстів.

4.2.1. Створення модулю вилучення визначень слів із контексту з використанням NLP

Для проведення дослідження було ретельно відібрано колекцію з 12 текстових уривків, які охоплюють різноманітні сфери та мовні стилі. Ці уривки були оброблені за допомогою Python-бібліотеки SpaCy для токенізації речень, що забезпечило детальне представлення тексту. Згодом було використано бібліотеку bert-extractive-summarizer для виявлення речень, найбільш схожих на визначення цільового слова (рис. 4.9).

target	test_sentence	similarity_score
Інформаційні технології - це	Отже, інформаційні технології (ІТ) — це сукупність методів і засобів, що використовуються для збору, зберігання, обробки і поширення інформації.	0.454
Інформаційні технології - це	Інформаційні технології призначені для зниження трудомісткості процесів використання інформаційних ресурсів. [джерело?]	0.432
Інформаційні технології - це	На базі цієї техніки з'являється новий вид технологій — інформаційні.	0.423
Інформаційні технології - це	Інформаційні технології — давно звичні для всіх слова, які дуже точно характеризують життя і потреби сучасного суспільства.	0.42
Інформаційні технології - це	Сюди входить її збір, структуризація, оформлення, редагування — ці завдання виконують web-програмісти, web-дизайнери, контент-менеджери, менеджери інтернет-проекту.	0.407
Інформаційні технології - це	Люди, які не пов'язані з ІТ, швидше за все, скажуть, що це щось складне, незрозуміле і розумне.	0.391
Інформаційні технології - це	І сьогодні вони оточують нас у всіх сферах життя: записна книжка в вашому телефоні – це база даних, бортовий комп'ютер автомобіля – спеціальна обчислювальна система.	0.371
Інформаційні технології - це	Інформація — будь-які відомості або дані, які можуть бути збережені на матеріальних носіях або відображені в електронному вигляді.[джерело?]	0.357
Інформаційні технології - це	Але чи так це насправді?	0.341

Рис. 4.9. Речення, які зі створеного набору документів мають найвищий рівень схожості з шуканим визначенням

Використовуючи модель BERT, було згенеровано контекстні пропозиції, які вдосконалили процес вилучення дефініції слова. Результати продемонстрували, що запропонований підхід дає точні та релевантні визначення слів, враховуючи семантичні та контекстуальні аспекти тексту. Поєднання SpaCy, bert-extractive-summarizer і BERT значно підвищило точність і повноту вилучення дефініцій слів порівняно з традиційними методами.

Продовжуючи дослідження в цій галузі, можна продовжувати вдосконалювати і розширювати можливості систем NLP, що в кінцевому підсумку дозволить більш точно і нюансоване розуміння мови. Знання, отримані в результаті цього дослідження, закладають основу для майбутніх досліджень, сприяючи інноваціям і прогресу в галузі обробки природної мови.

Важливо зазначити, що хоча сучасні технології обробки природної мови (NLP) досягли значного прогресу, вони не можуть працювати оптимально для всіх мов, включаючи українську. Це обмеження підкреслює необхідність розробки та впровадження національних технологій, спеціально адаптованих для української мови. Українська мова має унікальні лінгвістичні характеристики та нюанси, які

вимагають спеціальної уваги та лінгвістичних ресурсів для ефективного опрацювання та аналізу тексту.

4.2.2. Створення модулю класифікації темпоральних фраз з природномовних текстів

Для створення модулю класифікації темпоральних фраз з природномовних текстів створимо навчальний набір даних та навчимо класифікаційну інтелектуальну модель. Для створення навчального датасету, використаємо 2 генеративні моделі для створення прикладів темпоральних фраз та генерування програмних алгоритмів для створення більшої кількості таких прикладів. Використаємо ChatGPT 4.0 від компанії OpenAI та Gemini від Google. Схема поповнення датасету прикладами темпоральних фраз показана на рисунку 4.10.

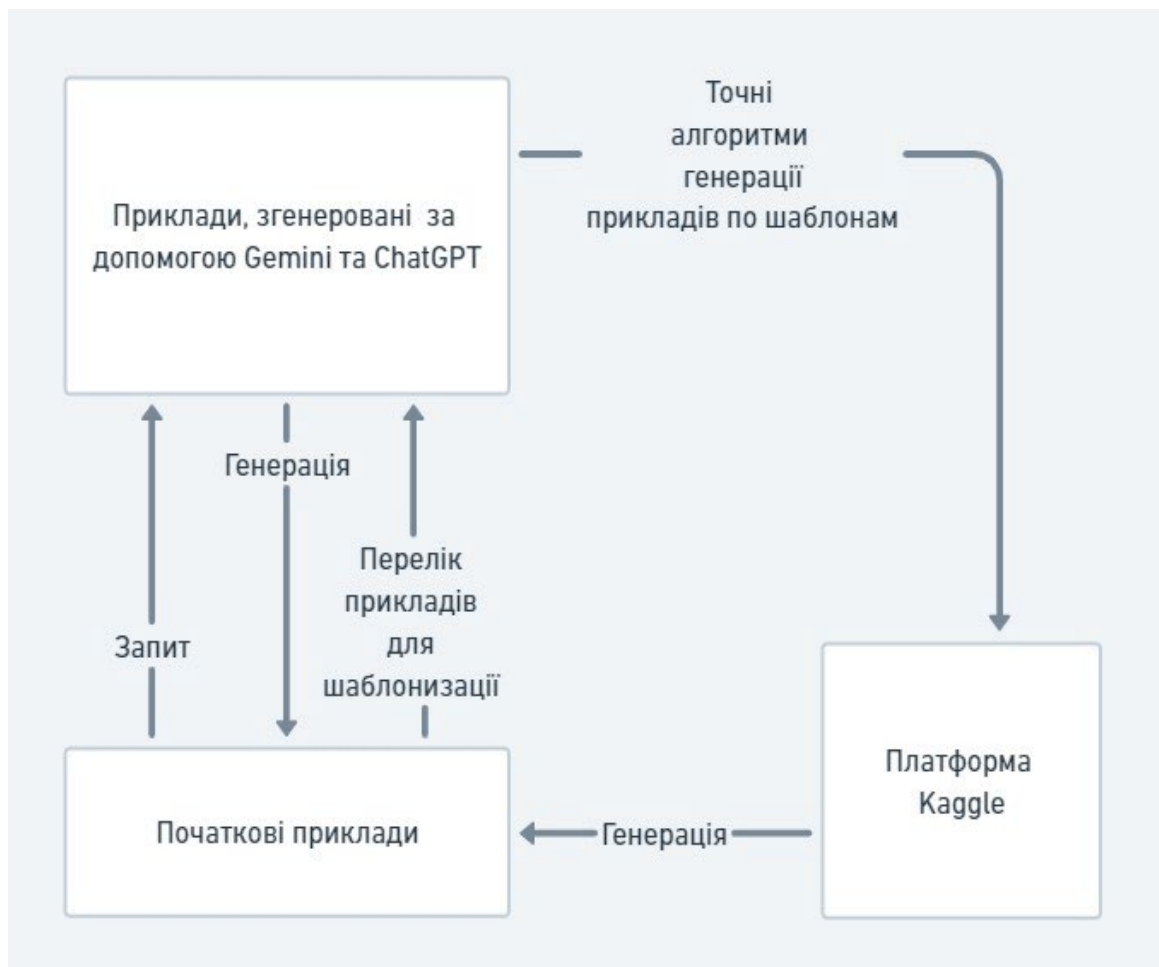


Рис. 4.10. Схема поповнення датасету прикладами темпоральних фраз

Використовуючи подібну схему (рис. 4.10), було створено датасет з 1 078 862 записами. Подібна масштабність даних є необхідною для навчання нейромережі, яка могла б забезпечити високу точність класифікації темпоральних фраз.

Для інтелектуальної моделі використовуватимемо архітектуру Bi-LSTM, з огляду на її ефективність у роботі з послідовними даними, є ідеальною для нашої задачі. Ця модель забезпечує глибше розуміння контексту темпоральних фраз у тексті.

Моделі протестована на датасеті WISEST-SBB, що містить екологічні звіти про стан води в річці Південний Буг. На прикладах з датасету мережа показала точність 0.988 у розрізненні темпоральних фраз у природномовному тексті (рис. 4.11). Ці результати підкреслюють потенціал моделі для застосування в реальних умовах.

Спроба	Датасет, к-сть записів	Вага нейромережевої моделі	Точність моделі
1	1 500	08.2 МБ	0.99
2	500 000	28 МБ	0.95
3	1 078 862	108 МБ	0.98

Рис. 4.11. Порівняння моделей

На розміченому тексті видно, що модель класифікує як темпоральні вирази окрім дат ще й фізичні величини. Це зумовлено тим що тренувальний датасет не містив достатньої кількості виразів, що містять цифри, але не є датами. Поповнення датасету та покращення результатів класифікації є в планах дослідження. Як видно з прикладу модель добре розрізняє не тільки дати, але й неточні вираження про час такі як «наприкінці грудня», «другий місяць» тощо (рис. 4.12).

Комунальники курортного Хмільника Вінницької області другий місяць б'ють на сполох, адже місцева лабораторія фіксує понаднормове забруднення Південного Бугу у місці водозабору. Вперше у КП «Хмільникводоканал» звернулися до екологів **наприкінці грудня**. Досліди фахівців інспекцій Вінницької та Хмельницької областей у січні не виявили **грубих порушень**. Як зазначають у ДЕІ, по факту забруднення річки Південний Буг, встановленого **28 січня 2021 року** на межі Вінницької та Хмельницької областей, Державною екологічною інспекцією у Вінницькій області **24 лютого 2021 року повторно** проведено спостереження за якістю поверхневої води в річці від Хмельницької області до м. Вінниці. Тобто лютневі досліді проводили виключно в межах одного регіону. Як вказують у вінницькій інспекції, «спеціалістами відділу інструментально-лабораторного контролю був здійснений виїзд пересувною лабораторією в район «Кармелюкового крісла», яке знаходиться на межі Вінницької та Хмельницької областей. На місці були відібрані проби з річки Південний Буг та проведений експрес-аналіз на вміст азоту амонійного та фосфат-іону. За результатами експрес аналізу концентрація азоту амонійного становить **3,6 мг/дм3** при нормативі **2,0 мг/дм3**, **фосфати 1,85 мг/дм3** при нормі **3,5 мг/дм3**».

Рис. 4.12. Приклад розмітки тексту. Червоний колір кодує ймовірність того, що слово є часовою міткою

4.2.3. Створення модулю оцінки темпоральної спрямованості на рівні слів та текстів

Створимо датасет на основі україномовних новин із соцмереж. Датасет охоплює 127 000 датованих текстів. Для цього за допомогою інструментів оброблення природної мови у датованих текстів було очистимо текст від неукраїнських символів, посилань, стоп-слів і стоп-фраз, видалення пунктуації, лематизація слів та створимо словник унікальних слів.

Для обчислення темпоральної спрямованості пар слів документів, шляхом оптимізації гіперпараметрів та тестувань, використаємо нейронну мережу з 5 прихованими шарами. Функція активації – ReLU, Dropout = 0.2, метрика – MSE («Mean Square Error» – з англ.: «Середньоквадратична похибка» [91]). На рис. 4.13 наведено графік залежності функції втрат (Loss) за цією метрикою від епох навчання. А на рис. 4.14 наведено гістограму передбачень для 1000 випадкових пар слів зі словника, побудованого на основі цього датасету.

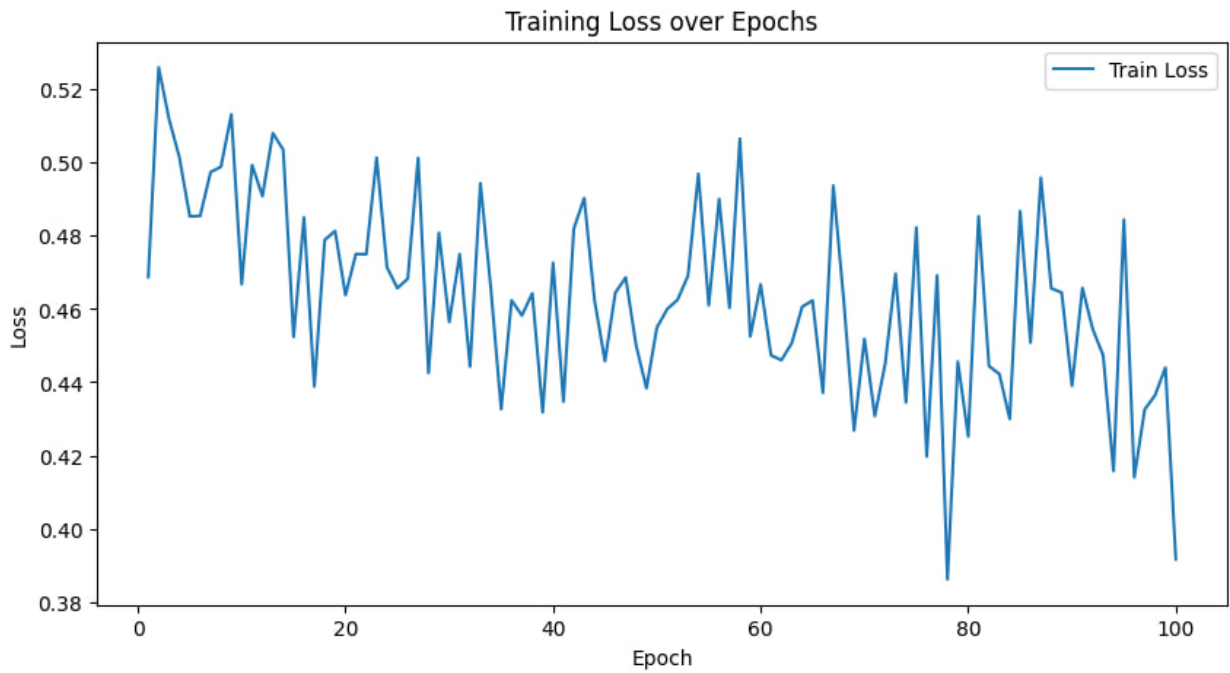


Рис. 4.13. Графік залежності функції втрат від епох навчання за метрикою MSE

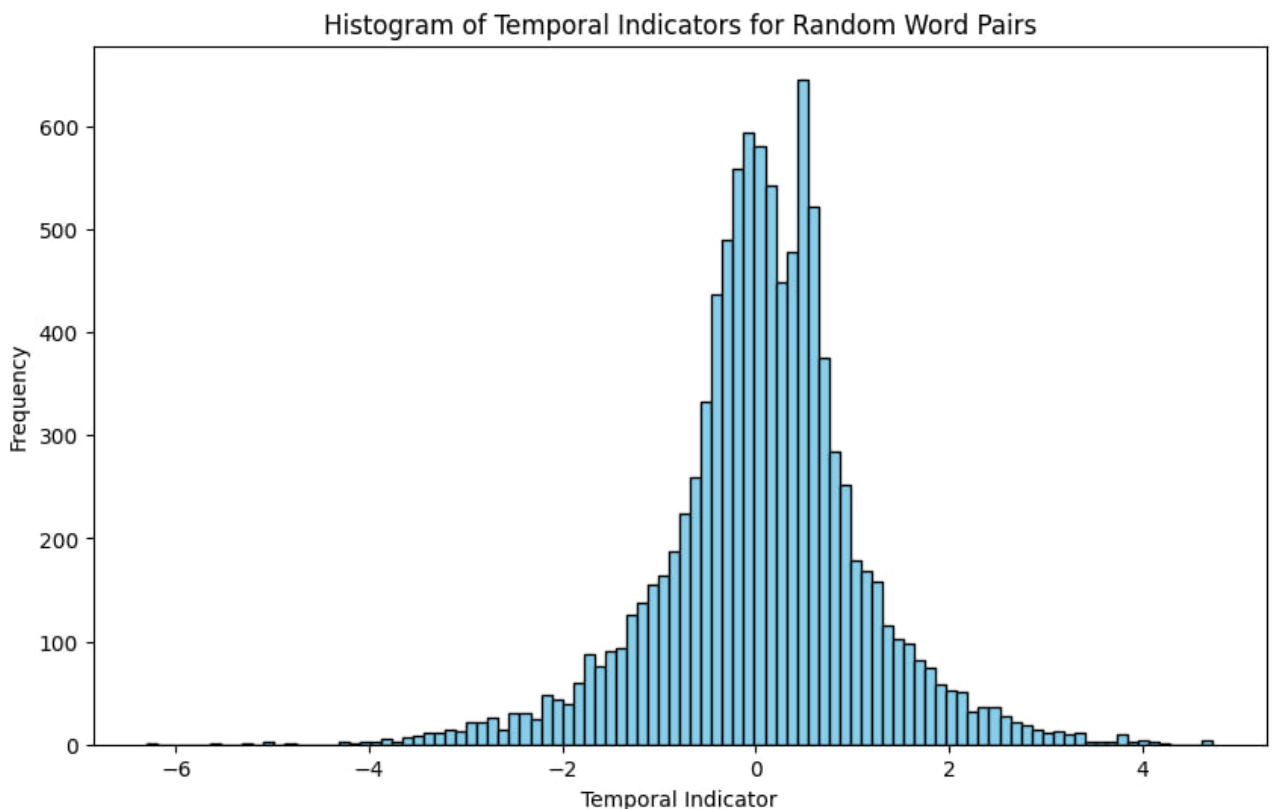


Рис. 4.14. Гістограма передбачень для 1000 випадкових пар слів зі словника

Для навчання моделі оцінювання темпоральної спрямованості на рівні текстів, створимо набір даних. Для цього, використовуючи модель передбачення значень показника темпоральної спрямованості на рівні слів, оберемо 400 текстів

датованих новин, які порівнювалися між собою. Для кожної пари створимо матриці оцінок, агреговані за ознаками з таблиці 2.1. Для кожної пари новин визначимо цільовий показник: 1 — для пари новин, що знаходяться в прямому хронологічному порядку, та -1 — для пари новин, розташованих у зворотному хронологічному порядку.

Усі дані розіб'ємо на навчальний (80%) і валідаційний (20%) датасети. Як це прийнято, на навчальному датасеті здійснимо навчання класифікаційні моделі штучного інтелекту і потім за передбачимо класи для даних валідаційного датасету. У таблиці 4.2 наведено отримані відповідні значення метрики «Accuracy_score» (відсоток правильно передбачених класів [91]) для навчального («Accuracy_training») та валідаційного («Accuracy_validation») датасетів окремо.

Табл. 4.2. Результати навчання моделей штучного інтелекту

№	Назва моделі	Accuracy training	Accuracy validation
1	Gradient Boosting Classifier	0.954534	0.897601
2	Random Forest Classifier	0.948678	0.748106
3	Decision Tree	0.874904	0.689773
4	Logistic Regression	0.750984	0.585606

Результати показують, що модель «Gradient Boosting Classifier» бібліотеки Sklearn досягла найвищого показника точності Accuracy_validation — 89.76%, при цьому відхилення від Accuracy_training не перевищує 10%, що є доволі гарним результатом [86].

4.2.4. Створення модулю темпорального впорядкування структурно-логічних схем освітньої програми

Для експерименту використано освітні матеріали Вінницького національного технічного університету (ВНТУ), зокрема бакалаврську освітню програму “Прикладні інформаційні технології” зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології». Проведено аналіз за ключовим поняттям «програмний продукт».

На першому етапі було проаналізовано наявні РН та СК, обрані з них ті, які є дотичними до ключового поняття. Використовуючи матриці відповідності, було визначено, які ОК вивчають необхідний напрямок. На основі навчальних матеріалів цих ОК сформовано датасет, який містив назви ОК та тексти, що описують тематику й зміст відповідних дисциплін (рис. 2.3).

За допомогою великої мовної моделі ChatGPT-4 та серії промптів до кожної ОК було сформовано списки ключових слів та здійснено їх об'єднання в загальний список з 376 елементів і - групування по 30 ключових поняттях.

З відкритих джерел зібрано корпус текстів, який складався з трьох частин, відповідно до тріадного поділу життєвого циклу програмного продукту. Застосовуючи метод TF-IDF [96], для кожної частини тріади визначено слова, що найчастіше зустрічаються у певній частині тріади й не трапляються в інших. Розподіл унікальних та спільних слів словника між стадіями тріади представлено на рисунку 4.15. Загальна кількість слів у словнику зібраного датасету - 839 слів. Для кожного ключового поняття, яке присутнє у більше ніж трьох дисциплінах, за допомогою серії запитів до LLM виявлено відповідні процеси та дієслова, які з ними пов'язані.

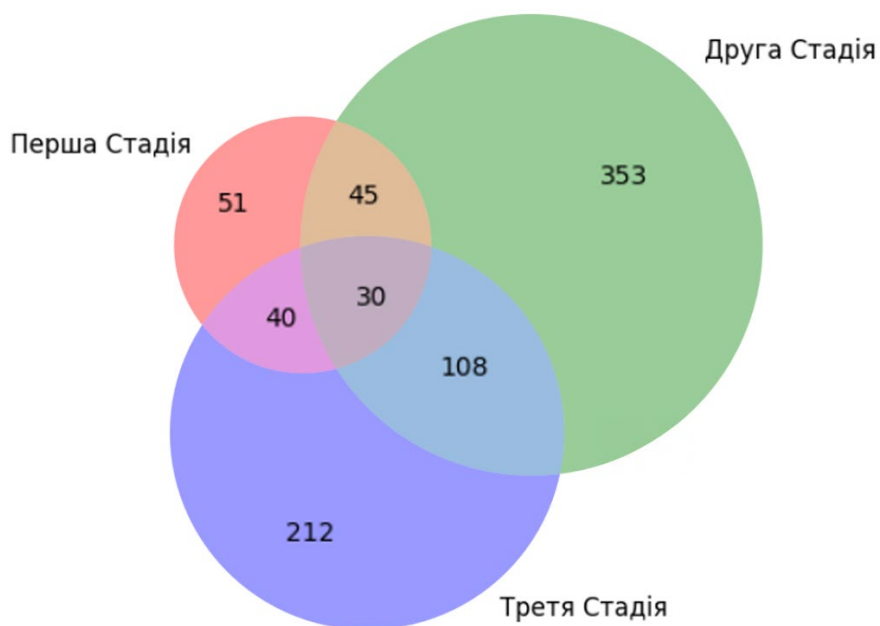


Рис. 4.15. Діаграма Венна розподілу унікальних та спільних слів між стадіями тріади

Сформований у такий спосіб датасет використано як тренувальний датасет для моделі класифікації отриманого набору даних щодо виявлення в якій частині навчальної тріади знаходиться дисципліна (рис. 4.16).

Скорочена Назва дисципліни №	№	Аналіз	Використання	Забезпечення	Застосування	Ідентифікація	Керування	Моделювання	Модернізація	Налагодження	Оцінка	Проектування	Реалізація	Розроблення	...	Створення
		1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...	1
АПЗ	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...	1
ІВ	2	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	...	0
ТБД	3	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	...	1

Рис. 4.16. Фрагмент навчального датасету

Було побудовано та навчено багатоцільову модель класифікації на основі градієнтного бустингу для прогнозування трьох класів. Після навчання модель продемонструвала достатньо високу ефективність: точність (accuracy) склала 85-87%, а значення F1-міри для кожної цільової змінної свідчили про збалансовану продуктивність (табл. 4.3), хоча третю стадію ідентифікувати важче.

Табл. 4.3. Оцінки навчання моделі

Target	Precision	Recall	F1-score	Accuracy
Перша стадія	0,9	0,8	0,85	0,86
Друга стадія	0,91	0,87	0,87	0,87
Третя стадія	0,78	0,85	0,86	0,85

В результаті тестування цієї моделі сформована рекомендація щодо порядку викладання в межах освітньої програми дисциплін «Алгоритмізація та програмування», «Об'єктно-орієнтоване програмування» та «Управління ІТ-проектами», які містять ключове поняття «програмний продукт» (рис. 4.17).

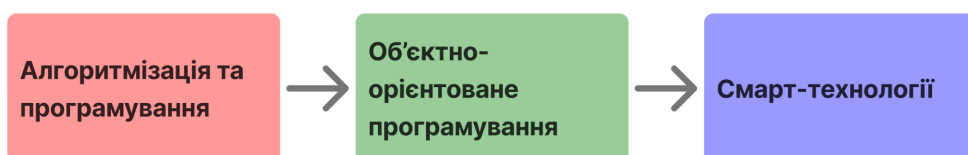


Рис. 4.17. Запропонована послідовність викладання дисциплін в межах освітньої програми

Оскільки в зібраному датасеті було виявлено 367 ключових слів, які об'єднуються в 14 ключових понять, є сенс провести подібне дослідження і для інших ключових понять. Це, своєю чергою, дозволить надати значний обсяг рекомендацій для можливих змін у структурно-логічну схему.

Крім того, використання розробленої технології корисне для друкарень-видавництв в процесі проєктування структурно-логічних схем, що підтверджується Актом впровадження (від 10 січня 2025 року) (Додаток А).

4.3. Застосування розробленої технології в оптимізації аналітичних вебсистем

Одна з проблем розвитку економіки будь-якої країни це — прогноз забезпеченості водою заданого регіону. Таке дослідження проводиться і в довгостроковій перспективі під час вибору місць розташування нових підприємств або інших виробничих потужностей, зокрема місць вирощування певних сільськогосподарських культур та ін., і в короткостроковій перспективі, щоб правильно спланувати роботу кожного виробництва чи водогосподарської споруди протягом кожного року, кварталу, місяця з урахуванням різних, і навіть фінансових та екологічних обмежень.

У трансграничному басейні Дністра протягом 2017—2021 років реалізовувався проєкт ГЕФ/ПРООН/ОБСЄ «Сприяння транскордонному співробітництву та комплексного управління водними ресурсами в басейні річки Дністер», у межах фінансування якого було створено автоматизовану вебсистему розрахунку і прогнозування водогосподарського балансу басейну Дністра, яка з 2018 року передана ОБСЄ для впровадження у систему управління урядами України та Республіки Молдови, а також уряду Республіки Польщі, на території якої розташована порівняно невелика ділянка басейну Дністра. На вимогу ОБСЄ вебсистема має чотиримовний інтерфейс.

Автоматизована вебсистема розрахунку і прогнозування водогосподарського балансу басейну Дністра забезпечує:

- 1) для неавторизованих користувачів:
 - перегляд верифікованих розрахунків балансу по водогосподарських ділянках з архіву системи;
 - перегляд карти з водогосподарськими ділянками і гідропостів;
 - розрахунок водогосподарського балансу для водогосподарських ділянок басейну Дністра для 50 %, 75 %, 95 % забезпеченості, а також баланс за вибраним роком і прогноз балансу з урахуванням зміни клімату;
- 2) для авторизованих користувачів:
 - перегляд інформації у системі;
 - введення, зміна інформації у системі в тих таблицях, за якими у користувачів є достовірні дані (права на доступ до кожної таблиці видаються адміністратором системи);
 - розрахунок водогосподарського балансу для водогосподарських ділянок басейну Дністра для 50 %, 75 %, 95 % забезпеченості, а також баланс за вибраним роком і прогноз балансу з урахуванням зміни клімату;
 - збереження в архів верифікованих розрахунків водогосподарського балансу;
 - перегляд карти з водогосподарськими ділянками і гідропостами;
 - перегляд верифікованих розрахунків балансу по водогосподарських ділянках з архіву системи;
 - перегляд статистики;
- 3) для адміністратора системи:
 - управління користувачами системи і їхніми правами;
 - управління архівом.

Створена у 2017—2021 роках вебсистема є другою версією цієї ж системи, створеної у межах компоненти «Зміна клімату та безпека в басейні річки Дністер» іншого проєкту ОБСЄ протягом 2015–2016 років [95, 99, 100].

Ключова відмінність системи другої версії від першої — це можливість масштабування у просторі основних параметрів та створених прогнозів. На вимогу представників урядів Республіки Молдова та України забезпечено можливість розрахунку водогосподарського балансу не тільки водогосподарських ділянок, згідно із законодавчо затвердженим в Україні районуванням та проектом аналогічного районування у Республіці Молдова, а й — значно менших ділянок території. Адже, як відомо, чим менше просторова ділянка, дані якої аналізуються, тим точнішими і практично кориснішими є зроблений для неї аналіз та прогноз.

Побудовано інформаційну модель для кожного рівня: «загальне районування» та «деталізоване районування». Проаналізовані усі можливі запити та співвідношення між ними. Частина результату такого аналізу опублікована у монографії [92], де подано й біхроматичний граф, точніше — його формалізація у вигляді геоінформаційного простору параметрів (це варіант БГ, адаптований одночасно і до рівнянь у вигляді (2.21), і до формату шарів геоінформаційних систем, у вигляді яких запропоновано зберігати і редагувати БГ). Аналіз виявив, що для низки ділянок досягнення умови (2.23) є неможливим, оскільки не вистачає первинних даних про стік річки, через відсутність жодного метеопоста на території. Тоді знову створили робочу групу проекту, яка оптимізувала деталізоване районування, щоб забезпечити в такий спосіб повноту топологічної спостережуваності інформаційної моделі на обох рівнях. Одним з елементів такої оптимізації стало обмеження ділянок деталізованого районування кордонами держав — на території кожної із трьох країн виділено свої ділянки. Саме це дозволило узгодити міжрівневі залежності. Річ у тім, що інформаційні моделі створені для районування двох видів:

- басейнове (основне): басейн, водогосподарська ділянка основного районування, водогосподарська ділянка деталізованого районування;
- адміністративне (для частини даних на кшталт обсягів водокористування та ін.): країна, для України — область країни.

Частина даних була тільки по Польщі, тільки по Молдові, тільки по Україні, частина — зібрана та агрегована за басейновим принципом. Оскільки

інтерфейс введення первинних даних передбачає, що кожна країна вводить свої дані окремо, то важливо було передбачити поєднання і базової, і адміністративної інформаційної моделі даних. Саме метод оптимізації цих моделей з використання міжрівневих залежностей допоміг розв'язати задачу.

Надалі виконані програмні роботи, проведене навчання представників обох основних країн, усім передано паролі доступу. Частина функціональності системи (без редагування первинних даних) є доступною без авторизації.

В рамках роботи над геоінформаційним кадастром водних об'єктів Вінницької області було розроблено підсистему введення атрибутивних даних, яка дозволяла вносити параметри кожного водного об'єкта кадастру, як частини багаторівневої багатозв'язної аналітичної вебсистеми з використанням ГІС-технологій.

Відповідно до поставленої задачі розроблено модуль автоматизованої підготовки атрибутивних даних ГІС для їх перенесення на геопортал, який забезпечує збір даних по всіх наявних у базі даних водних об'єктах про:

- район;
- ОТГ;
- сільська/селищна/міська рада;
- населений пункт;
- тип водного об'єкта;
- топонімічна назва (місцева назва) водного об'єкта ;
- кадастровий номер земельної ділянки;
- площа земельної ділянки та водного дзеркала при НІПР;
- стан та статус водного об'єкта;
- розпорядження голови облдержадміністрації;
- орендодавець;
- повне найменування користувача (орендаря);
- строк дії договору оренди діє з;
- строк дії договору оренди діє до.

Збір даних по всіх наявних у базі даних водних об'єктах здійснюється шляхом натиснення кнопки «Зібрати дані для заповнення семантик» на формі роботи з даними про водні об'єкти (рис. 4.18). Натиснення даної кнопки запускає алгоритм збору даних з різних таблиць по кожному наявному в базі даних водному об'єкту. При зборі враховуються факти, що один водний об'єкт може бути розташований на території кількох рад, районів, земельних ділянок, а також може орендуватися кількома орендарями одночасно.

Водні об'єкти

Показати на карті Експорт Режим таблиці

№ п/п: 1

Примітка: [input type="text"]

Населений пункт: с. Добрянка

Місце розташування: за межами населених пунктів

Тип водного об'єкта: ставок

Топонімічна назва (місцева назва) водного об'єкта: [input type="text"]

Стан водного об'єкта: задовільний

Додаткові відомості: [input type="text"]

Розташування: за межами

Площа водного дзеркала при НПР, га: 17,376

Призначення водного об'єкта: господарські потреби

Зібрати дані для заповнення семантик Фіксована середня плата за надані в оренду водні об'єкти, грн: [input type="text"] Розрахувати орендну плату

Рис. 4.18. Удосконалена форма для роботи з даними про водні об'єкти

Результат збору даних можна переглянути в табличному вигляді. На рисунку 4.19 наведено приклад фрагмента такої таблиці.

№ п/п	Район(и)	ОТГ	Рада(и)	Населений пункт	Тип водного об'єкта
1	Ямпільський		Писарівська сільська рада	с. Добрянка	ставок
2	Ямпільський		Писарівська сільська рада; Порогівська сільська рада	с. Добрянка	ставок
3	Барський		Копайгородська селищна рада	смт Копайгород	ставок
4	Барський		Чемериська сільська рада	с. Чемериське	ставок
5	Барський		Балківська сільська рада	с. Окладне	ставок
6	Барський		Журавлівська сільська рада; Терешківська сільська рада	с. Журавлівка	ставок
7	Барський		Супівська сільська рада	с. Супівка	ставок
8	Барський		Поповецька сільська рада	с. Попівці	ставок
9	Барський		Поповецька сільська рада	с. Попівці	ставок
10	Барський		Луко-Барська сільська рада	с. Квітка	ставок

Рис. 4.19. Результат збору даних

2) Експорт зібраних даних до семантик (параметрів) водних об'єктів (у яких є код зв'язку з БД) на карті, з можливістю налаштування переліку семантик.

Для здійснення експорту зібраних даних до семантик розроблено інструмент «Заповнення семантик». На рисунку 4.20 приведено загальний вигляд інструменту «Заповнення семантик».

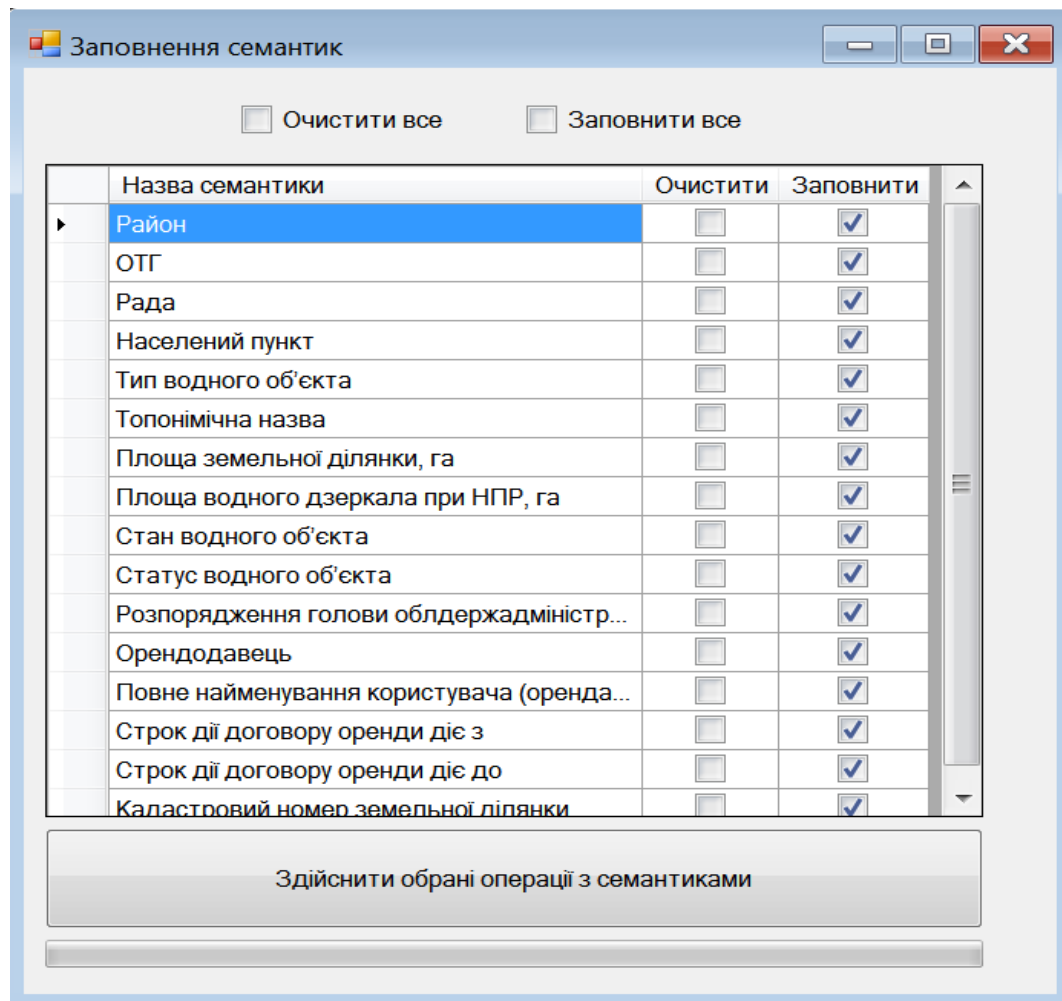


Рис. 4.20. Загальний вигляд інструменту

При натисненні на кнопку «Здійснити обрані операції з семантиками», запускається алгоритм, який залежно від вказаних галочок здійснює заповнення в циклі, попередньо зібраних в базі даних, для зазначених на карті водних об'єктів. Також на формі є прапорці, які дозволяють відмітити/не відмітити всі семантики, для яких необхідно здійснити очищення чи заповнення даних. На рисунку 4.21 наведено приклад заповнених семантик для певного водного об'єкта.

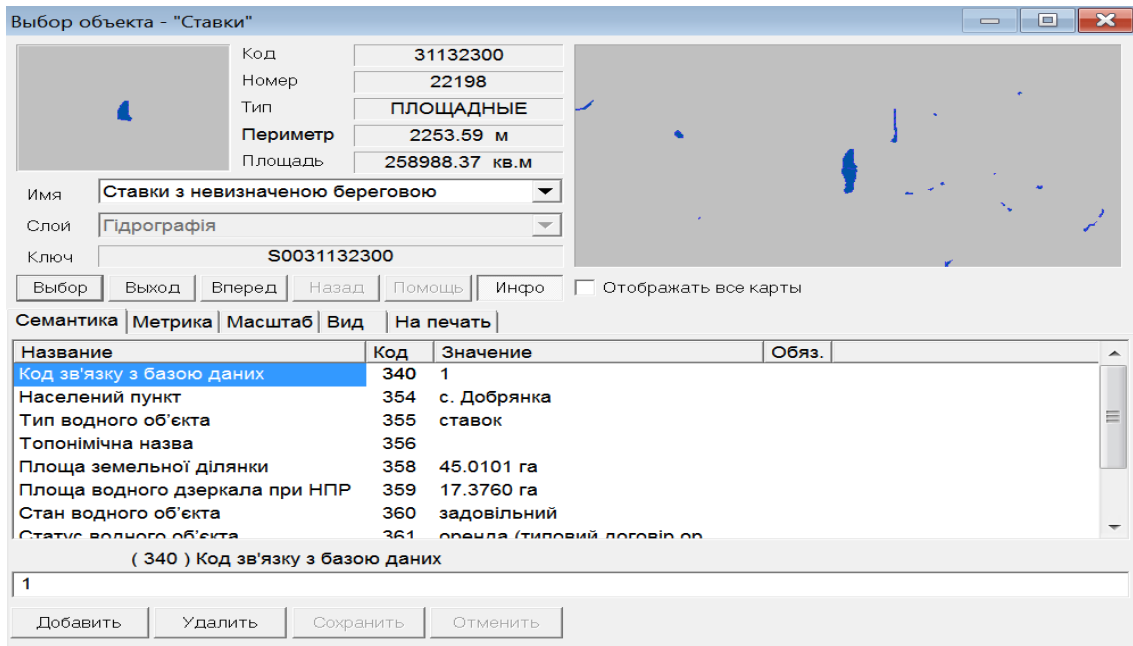


Рис. 4.21. Приклад заповнених семантик для певного водного об'єкта

Таким чином було розроблено та охарактеризовано підсистему автоматизованої підготовки даних геоінформаційного кадастру водних об'єктів Вінницької області для представлення їх на геопорталі.

4.4. Впровадження результатів дослідження в навчальний процес

Результати дослідження впроваджені у навчальний процес Вінницького національного технічного університету під час викладання дисципліни «Інформаційні технології моніторингу та аналізу стану складних систем» для аспірантів, які навчаються за освітньою програмою «Інформаційні системи та технології» рівня «доктор філософії» цієї ж спеціальності 126, впроваджено результати цієї дисертаційної роботи у низці лекцій та практичних занять у сфері інтелектуальних інформаційних технологій.

При викладанні цієї дисципліни використовуються такі результати досліджень:

- методологія системного аналізу багаторівневих, багатозв'язних систем з невизначеністю;

- метод визначення темпоральної спрямованості та використання його для впорядкування текстових елементів за допомогою моделей штучного інтелекту на базі відомих Python-бібліотек.

Використання зазначених результатів дозволило підвищити якість навчального процесу із згаданої дисципліни.

Крім того, у межах навчального процесу викладачеві дисципліни «Інтелектуальні технології оброблення зображень» асистентові кафедри САІТ Лосенку А. В. було передано розроблене здобувачем методичне, алгоритмічне та програмне забезпечення для синтезу афіш за частковими вхідними даними.

Гарантові освітньо-професійної програми «Прикладні інформаційні технології» (рівень «бакалавр») спеціальності 126, доцентів кафедри САІТ, к.т.н., доц. Крижановському Є. М., передано рекомендації щодо темпорального упорядкування окремих освітніх компонентів у структурно-логічній схемі цієї програми.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження в навчальний процес підтверджується Актом впровадження (від 21 квітня 2025 року).

4.5. Впровадження результатів дослідження у виробничий процес

Результати дисертаційної роботи рекомендовані до впровадження в практичну діяльність друкарні-видавництва «ТВОРИ» при макетуванні графічних виробів: постерів, афіш, реклами тощо. Зокрема цінними є наступні отримані результати:

- Удосконалений метод макетування графічних і текстових елементів на графічних об'єктах з використанням передтренованої інтелектуальної моделі, що визначає оптимальні значення інших параметрів.
- Використання методу впорядкування структурно-логічних схем, що дозволяє прискорити проєктування подібних.

- Розроблена технологія оптимізації параметрів текстових/графічних елементів в багаторівневих схемах дає можливість прискорити проєктування афіш, схем та інших продуктів.

Впровадження у виробничий процес підтверджується Актом впровадження (від 10 січня 2025 року) (Додаток А)

4.6. Висновки до розділу 4

У цьому розділі запропоновано реалізація різних програмних засобів використання розробленої технології у різних предметних областях.

Продемонстровано застосування розробленої технології у дизайні графічних об'єктів на прикладі макетування афіш. Розроблено модуль, що реалізує метод оптимізації параметрів графічних і текстових елементів на графічних об'єктах (афішах) як багаторівневих системах, який на основі передтренуваної інтелектуальної моделі та частини заданих параметрів, визначає оптимальні значення інших параметрів, що одночасно підвищує якість цих об'єктів та скорочує час на їх проєктування. Результати тестування системи показали збільшення прогнозованої якості макетованого об'єкту на відміну від використання аналогів.

Показано застосування розробленої технології в задачі оптимізації освітніх програм. Зокрема розроблено модулі вилучення визначень слів із контексту з використанням NLP, класифікації темпоральних фраз з природномовних текстів для виявлення часових міток у текстах, оцінки темпоральної спрямованості на рівні слів та текстів. Створено модуль темпорального впорядкування структурно-логічних схем освітніх програм. Практичне випробування нейромережевого підходу до темпорального впорядкування в модулі оцінки темпоральної спрямованості показало високу точність у хронологічному впорядкуванні документів. Було протестовано декілька інтелектуальних моделей для класифікації темпоральної спрямованості на рівні документів. Найкращий результат 89,76% за метрикою «Accuracy_score» на валідаційному датасеті

показала модель «Gradient Boosting Classifier», що демонструє можливість використання даного підходу та розробленого модуля для впорядкування текстів, що не мають явних часових міток, прикладом яких є навчальні матеріали освітніх програм. Під час дослідження було створено датасет для навчання інтелектуальних моделей класифікації часових міток у текстах, що містить 1 078 862 записи, навчено модель класифікації, яка досягає точності 98 % та демонструє гарні результати під час тестування на реальних даних.

Продемонстровано застосування технології в оптимізації аналітичних вебсистем на прикладі розробки автоматизованої вебсистеми розрахунку і прогнозування водогосподарського балансу басейну Дністра. Застосування розробленого підходу на етапі проєктування цієї системи забезпечило уникнення появи запитів чи залежностей, не забезпечених даними. Систему розроблено та успішно впроваджено. Наведено приклад у галузі управління водними ресурсами, який продемонстрував працездатність запропонованих рішень. Використовуючи запропонований метод в межах проєкту ГЕФ/ПРООН/ОБСЄ «Сприяння транскордонному співробітництву та комплексного управління водними ресурсами в басейні річки Дністер» розроблено та впроваджено автоматизовану вебсистему розрахунку і прогнозування водогосподарського балансу басейну Дністра.

Впроваджено результати дослідження в навчальний процес, зокрема при викладанні дисципліни для аспірантів. Впроваджено результати цієї дисертаційної роботи у низці лекцій та практичних занять, що дозволило підвищити якість навчального процесу цієї дисципліни. Передано розроблене методичне, алгоритмічне та програмне забезпечення для синтезу афіш за частковими вхідними даними викладачеві дисципліни «Інтелектуальні технології оброблення зображень та рекомендації щодо темпорального упорядкування окремих освітніх компонентів у структурно-логічній схемі освітньої програми.

Наведені в розділі результати були висвітлені в таких роботах: [1, 2, 3, 4, 7, 8].

ВИСНОВКИ

В даній дисертації розв'язано задачу підвищення якості та швидкості проектування багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю за рахунок розроблення інтелектуальної технології оптимізації параметрів текстових та графічних елементів та їх взаємозв'язків у таких системах, з урахуванням шаблонів та вимог.

У першому розділі проаналізовано клас задач оптимізації багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю на прикладі 3 предметних областей: макетування графічних об'єктів, охарактеризовано основні проблеми оптимізації параметрів та взаємозв'язків у багаторівневих системах. Проаналізовано процес макетування графічних об'єктів. Виявлено вхідні дані макетування, вихідні формати та критерії оцінки результату макетування. Виявлено наявні технічні, стильові та бізнес обмеження цього процесу. Виявлено шаблони макетування, основні платформи публікації результатів макетування – сайти-агрегатори. Виявлено основну задачу та основні проблеми проектування структурно-логічних схем. Виявлено сучасні вимоги до багаторівневих аналітичних вебсистем, а саме необхідність забезпечення виконання довільних запитів користувачів аналітичної вебсистеми, шляхом проектування інформаційної моделі системи, яка б дозволила отримувати інформацію з різним рівнем агрегації у часі, просторі чи семантиці. Проаналізовано характеристики багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю. Якість функціонування цих систем оцінюється різними, але формально описуваними критеріями: коефіцієнтом залученості, показником темпоральної впорядкованості та повнотою топологічної спостережуваності. Швидкість проектування й оновлення зазначених систем знижується через великі обсяги даних, наявність множинних обмежень та необхідність ручного узгодження компонентів. Проведено огляд прикладів багаторівневих багатозв'язних систем в інших предметних областях, зокрема проектування системи реєстрації гуманітарної допомоги та ведення інформаційної системи кадастру водних ресурсів. Підтверджено актуальність розвитку подібних

досліджень та необхідності розроблення універсальної технології, яка буде вирішувати задачу оптимізації параметрів подібних систем без прив'язки до предметних областей. Оглянуто та проаналізовано відомі методи та технології оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах, з урахуванням їх специфіки. Серед них оглянуто відомі методи та підходи до оптимізації макетування графічних об'єктів. Розглянуто основні критерії оцінки якості графічного об'єкту, серед яких відношення кількості вподобань до кількості переглядів – є найточнішим. Проведено аналіз джерел щодо основних ознак макета графічного об'єкта, що впливають на їх якість. Розглянуто метод відстеження траєкторії руху очей, які можуть бути використані для збору додаткових даних для оцінки якості графічних об'єктів. Оглянуто та проаналізовано існуючі методи та підходи до оптимізації проєктування структурно-логічних схем освітніх програм. Оглянуто дослідження задачі проєктування структурно-логічних схем. Ці дослідження пропонують певні форми представлення структурно-логічних схем, застосування генетичних алгоритмів, підкреслюють важливість виокремлення ключових слів. Вони здебільшого не враховують багаторівневості освітніх програм, темпоральне співвідношення та семантичні зв'язки між матеріалами освітніх компонент. Виявлено доцільність використання передових методів обробки природної мови та застосуванню великих мовних моделей, як для генерування навчальних наборів даних та у виконанні проміжних етапів процесу впорядкування освітніх програм. Оглянуто сучасні підходи до впорядкування та виявлено недостатність сучасної термінології для опису темпорального співвідношення між текстами, що не містять явних часових міток. Оглянуто та проаналізовано існуючі методи та підходи до оптимізації проєктування аналітичних вебсистем. Стандартні методи проєктування масштабованих аналітичних систем будуються на тому, що для кожного з рівнів використовуються окремі математичні моделі, дані в яких збираються окремо, що призводить до надлишковості інформації у системі та проблем в організації об'єднаних систем пов'язаних з узгодженістю. Запропоновано використання критерію повноти топологічної спостережуваності,

що передбачає представлення математичної моделі у вигляді графа зв'язків та його оптимізації задля забезпечення достатньої інформації про поточний стан системи. Оглянуто та проаналізовано існуючі методи та підходи до оптимізації багаторівневих систем з інших областей. Існуючі вирішення практичних задач демонструють хороші результати використання гнучких форм введення даних у багаторівневі багатозв'язні системи, що допомагає уникати дублювання даних та прискорення використання цих систем, за рахунок уникнення подвійного введення. Також розглянуто практичний досвід у створенні програмного забезпечення, що дозволяє пов'язати декілька рівнів внесення даних в геоінформаційну систему кадастру водних ресурсів. Розглянуті методи підтверджують актуальність технології оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів багаторівневих систем з невизначеністю, яка б дозволила збільшити якість цих систем та пришвидшило їх проектування. Аналіз літератури і існуючих підходів показав фрагментарність розв'язань: дослідники зосереджуються або на окремих аспектах, або на локальних евристичних, що не масштабуються на інші предметні області. Такими дослідженнями займається велика кількість вчених у майже усіх країнах світу, але досі не мали універсального розв'язку задачі оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів з урахуванням заданих обмежень з метою максимізації якості цих об'єктів, прикладами яких є залученість глядачів, темпоральне впорядкування текстових елементів для пришвидшення процесу проектування схем багаторівневих систем, а також збільшення повноти топологічної спостережуваності за рахунок зміни структури математичної моделі інформаційної системи.

У другому розділі розроблено загальну концепцію та формалізацію багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю, яка забезпечує оптимізацію цих систем в різних предметних областях. Розглянуто задачу оптимізації багатозв'язних багаторівневих систем з невизначеністю, що базується на максимізації інтегрального критерію з використанням інформаційних та інтелектуальних технологій. Сформульовано узагальнену постановку задачі

оптимізації таких систем та обґрунтовано методологію її розв'язання в межах системного аналізу. Охарактеризовано розроблений автором математичний апарат, який дає змогу формалізувати невизначеності та багаторівневі взаємозв'язки, забезпечуючи ефективне розв'язання задач оптимізації. Практичну реалізацію методології продемонстровано на прикладах автоматизованого генерування макетів графічних об'єктів, побудови структурно-логічних схем освітніх програм і розробки аналітичних вебсистем. Отримані результати створюють підґрунтя для подальших досліджень у напрямі розширення сфер застосування, вдосконалення моделей та інтеграції з сучасними цифровими платформами. Удосконалено метод оптимізації параметрів графічних і текстових елементів на графічних об'єктах (афіш, постерів тощо) як багаторівневих системах, який на основі передтренованої інтелектуальної моделі та частини заданих параметрів, визначає оптимальні значення інших параметрів, що дозволяє одночасно підвищити якість цих об'єктів та скоротити час на їх проєктування. Удосконалено метод оптимізації темпоральної упорядкованості текстових об'єктів у багаторівневих системах, який дозволяє підвищити якість цих систем. Запропоновано комплексний 4-етапний підхід до аналізу та темпорального впорядкування змісту освітніх програм. Розроблено підхід до виявлення та групування ключових понять на основі аналізу освітніх компонентів, а також створено алгоритм визначення темпоральних відносин дисциплін на основі аналізу процесів життєвого циклу. Такий підхід забезпечує системність та повноту аналізу освітніх програм. Зокрема, для вирішення цих задач запропоновано новий критерій темпоральної спрямованості та розроблено нейромережвий підхід до визначення його показника в текстах, що не містять явних часових маркерів. Введено новий термін "темпоральна спрямованість", який відображає ймовірнісний підхід до оцінювання порядку появи слів на основі статистичних закономірностей у текстових даних. Запропонований підхід використовує глибокі нейронні мережі для моделювання ймовірності того, що одне слово з'являється раніше за інше, шляхом попарного порівняння слів у датованих текстах. Також розроблено додаткові модулі вилучення визначень слів

з контексту та класифікації темпоральних фраз. Розроблено новий метод оптимізації інформаційних моделей масштабованих у просторі аналітичних вебсистем за критерієм повноти їхньої топологічної спостережуваності, який дозволяє здійснити аналіз повноти топологічної спостережуваності як на кожному рівні масштабування у просторі, на яких планується виконувати аналітичні операції у проєктованій вебсистемі, так і для всієї системи загалом. За результатами такого аналізу з'являється можливість введення програмних обмежень у функціональності вебсистеми, щоб уникнути появи запитів чи залежностей, не забезпечених даними, через неповну топологічну спостережуваність окремих чи усіх рівнів системи. Кожен критерій нормалізований, що уможлиблює їхню композицію у комплексну цільову функцію. Розроблено спеціалізовані методи оптимізації для трьох предметних областей узгоджені з базовою моделлю: алгоритм рекомендаційного макетування на основі моделі машинного навчання та прогнозу показника залученості; нейромережевий підхід для оцінки темпоральної спрямованості, який надає можливість впорядковувати пару освітніх компонентів з відносним впорядкуванням; метод максимізації топологічної спостережуваності з алгоритмом додавання внутрішньорівневих та міжрівневих залежностей. Наступним кроком буде розроблення інтелектуальної інформаційної технології оптимізації багаторівневих багатозв'язних систем з невизначеністю.

В третьому розділі розроблено інтелектуальну інформаційну технологію оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах, яка, за рахунок мультимодального підходу до формалізації параметрів ієрархічно структурованої інформації про ці об'єкти у багаторівневих системах, забезпечує підвищення якості та швидкості проєктування цих систем, з урахуванням шаблонів та обмежень. Запропоновано алгоритм та реалізація технології та побудовано UML-діаграму варіантів використання технології. Розроблено структуру інтелектуальної технології у вигляді UML-моделі компонентів. Обрано побудову інфраструктури за архітектурою «Сервіс-плагін», що поєднує ядро мікросервісів з набором зовнішніх плагінів, які реалізують спеціалізовані методи

оптимізації для різних предметних областей. Розроблено рекомендації щодо застосування створеної інтелектуальної технології. Запропоновано 6-етапну методику впровадження. На реальних прикладах випробувано інтелектуальну інформаційну технологію оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах, яка забезпечує підвищення якості та швидкості проектування цих систем. Випробування показало скорочення сумарної тривалості проектування афіши (як багаторівневої системи) на 20.37 % щодо традиційних підходів та збільшення прогнозованої якості на 4.72–7.62 %.

В четвертому розділі запропоновано реалізація різних програмних засобів використання розробленої технології у різних предметних областях. Продемонстровано застосування розробленої технології у дизайні графічних об'єктів на прикладі макетування афіш. Розроблено модуль, що реалізує метод оптимізації параметрів графічних і текстових елементів на графічних об'єктах (афішах) як багаторівневих системах, який на основі передтренованої інтелектуальної моделі та частини заданих параметрів, визначає оптимальні значення інших параметрів, що одночасно підвищує якість цих об'єктів та скорочує час на їх проектування. Результати тестування системи показали збільшення прогнозованої якості макетованого об'єкту на відміну від використання аналогів. Показано застосування розробленої технології в задачі оптимізації освітніх програм. Зокрема розроблено модулі вилучення визначень слів із контексту з використанням NLP, класифікації темпоральних фраз з природномовних текстів для виявлення часових міток у текстах, оцінки темпоральної спрямованості на рівні слів та текстів. Створено модуль темпорального впорядкування структурно-логічних схем освітніх програм. Практичне випробування нейромережевого підходу до темпорального впорядкування в модулі оцінки темпоральної спрямованості показало високу точність у хронологічному впорядкуванні документів. Було протестовано декілька інтелектуальних моделей для класифікації темпоральної спрямованості на рівні документів. Найкращий результат 89,76% за метрикою «Accuracy_score» на валідаційному датасеті показала модель «Gradient Boosting Classifier», що

демонструє можливість використання даного підходу та розробленого модуля для впорядкування текстів, що не мають явних часових міток, прикладом яких є навчальні матеріали освітніх програм. Під час дослідження було створено та опубліковано датасет на навчена рекурентна нейромережа для класифікації темпоральних фраз з природномовних текстів. Продемонстровано застосування технології в оптимізації аналітичних вебсистем на прикладі розробки автоматизованої вебсистеми розрахунку і прогнозування водогосподарського балансу басейну Дністра. Застосування розробленого підходу на етапі проектування цієї системи забезпечило уникнення появи запитів чи залежностей, не забезпечених даними. Систему розроблено та успішно впроваджено. Наведено приклад у галузі управління водними ресурсами, який продемонстрував працездатність запропонованих рішень. Використовуючи запропонований метод в межах проєкту ГЕФ/ПРООН/ОБСЄ «Сприяння транскордонному співробітництву та комплексного управління водними ресурсами в басейні річки Дністер» розроблено та впроваджено автоматизовану вебсистему розрахунку і прогнозування водогосподарського балансу басейну Дністра. Впроваджено результати дослідження в навчальний процес, зокрема при викладанні дисципліни для аспірантів. Впроваджено результати цієї дисертаційної роботи у низці лекцій та практичних занять, що дозволило підвищити якість навчального процесу цієї дисципліни. Передано розроблене методичне, алгоритмічне та програмне забезпечення для синтезу афіш за частковими вхідними даними викладачеві дисципліни «Інтелектуальні технології оброблення зображень та рекомендації щодо темпорального упорядкування окремих освітніх компонентів у структурно-логічній схемі освітньої програми.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. В. Б. Мокін і Б. С. Білецький, Інтелектуальна технологія макетування якісних афіш, *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 6, с. 73–82, Груд. 2019. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-147-6-73-82>.
2. Білецький Б., Мокін В. Інтелектуальна технологія аналізу темпоральної упорядкованості елементів структурно-логічної схеми освітньої програми. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes, Хмельницький*, 2024 (4), 401–408. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-49>.
3. В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, А. М. Лучко, Б. С. Білецький, і С. О. Жуков, «Метод оптимізації інформаційних моделей масштабованих у просторі аналітичних вебсистем за критерієм повноти їхньої топологічної спостережуваності», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 6, с. 131–141, Груд. 2021. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-159-6-131-141>.
4. Б. С. Білецький, В. Б. Мокін «Визначення темпоральної спрямованості в текстах: нейромережевий підхід для хронологічного впорядкування на основі аналізу пар слів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 6, Груд. 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-121-128>.
5. Б.С. Білецький. Розроблення веб-системи обліку надання допомоги вимушено внутрішньо переміщеним особам в Україні. *Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток: колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції (14-16 листопада 2022 р.)*. Київ, 2022. С. 197-199. – Режим доступу: https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-06_UDK_book_Monografia_48x210.pdf.
6. Білецький Б. С. Інтелектуальна інформаційна технологія оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах [Електронний ресурс] / Б. С. Білецький // *Матеріали LIV Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. – Електрон. текст. дані.

- 2025. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2025/paper/view/24428>.
7. Білецький Б.С. Адаптація методу дистиляції знань природною мовою для класифікації темпоральних фраз. *Матеріали LIII Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 20 – 22 березня 2024 р. Збірник наукових праць [Електронний ресурс], <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/788/1373/2632-1>.
 8. Білецький Б. С. Використання методів оброблення природної мови для вилучення визначень слів із контексту [Електронний ресурс] / *Матеріали LII Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 21-23 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2023/paper/view/18886>.
 9. В. Б. Мокін, Б. С. Білецький. Аналіз підходів до оптимізації об'єктів на основі інтелектуальних технологій відстеження траєкторії погляду. *Матеріали LI Науково-технічної конференція ФІІТА ВНТУ*, Вінниця, 31 травня – 1 червня, 2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/16163>.
 10. ДСТУ 3017: 2015. Видання. Основні види. Терміни та визначення понять. Київ: Держспоживстандарт України, 2016, 42 с.
 11. Wilson D. *The Social Media Creative Creature: An Introductory Guide to Social Media Video Content Creation for Brands*. – 2024. – 110 p.
 12. Andrew Faulkner, and Conrad Chavez, *Adobe Photoshop CC*, 2018, 384 p.
 13. Jonathan Gordon, Rob Schwartz, and Cari Jansen, *Learn Adobe InDesign CC for Print and Digital Media Publication*, 2018, 496 p.
 - 14.1. Lidwell W., Holden K., Butler J. *Universal principles of design: 200 ways to increase appeal, enhance usability, influence perception, and make better design decisions*. Beverly, MA: Quarto Publishing Group USA Inc, 2023. 424 p.

15. Stonoga D., Zinchenko A. Analysis of online platforms for professional presentation designer by using method portfolio / *The 5th International scientific and practical conference «Topical issues of modern science, society and education»* (November 28-30, 2021) SPC «Sciconf.com.ua», Kharkiv, Ukraine. 2021. – P. 1246-1251. <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/TOPICAL-ISSUES-OF-MODERN-SCIENCE-SOCIETY-AND-EDUCATION-28-30.11.21.pdf>.
16. M. Bandara, A. Behnaz, F. A. Rabhi, and O. Demirors, “From Requirements to Data Analytics Process: An Ontology-Based Approach,” *Business Process Management Workshops*, vol. 342, pp. 543-552, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11641-5_43.
17. M. Shu, S. Tan, L. Fu, Y. Zeng, X. Cao, and Y. Zeng, “Application of Design Methodologies to Web System Design: A Case Study of JIDPS Editorial System,” *Journal of Integrated Design and Process Science*, vol. 21, no. 4, pp. 79-112, 2017. <https://doi.org/10.3233/jid-2017-0020>.
18. H.-M. Chen, R. Kazman, and S. Haziyevev, “Agile Big Data Analytics for Web-Based Systems: An Architecture-Centric Approach,” *IEEE Transactions on Big Data*, vol. 2, pp. 234-248, 2016. <https://doi.org/10.1109/tbdata.2016.2564982>.
19. L. F. F. G. Assis, et al., “TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 8, no. 11, pp. 513, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijgi8110513>.
20. K. S. Duisebekova, D. K. Kozhamzharova, S. B. Rakhmetulayeva, F. A. Umarov, and M. Zh. Aitimov, “Development of an information-analytical system for the analysis and monitoring of climatic and ecological changes in the environment,” *Procedia Computer Science*, vol. 170, pp. 578-583, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.128>.
21. D. Y. Paramartha, A. L. Fitriyani, and S. Pramana, “Development of Automated Environmental Data Collection System and Environment Statistics Dashboard,” *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*, vol. 5, no. 2, pp. 314-325, 2021. <https://doi.org/10.29244/ijsa.v5i2p314-325>.

22. A. Fruhling, M. Hall, S. Medcalf, and A. Yoder, “Designing a Real-Time Integrated First Responder Health and Environmental Monitoring Dashboard,” *Designing for Digital Transformation. Co-Creating Services with Citizens and Industry*, vol. 12388, pp. 28-34, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64823-7_3.
23. В. Б. Мокін, І. І. Овчаренко, А. М. Лучко, і О. М. Давидюк, «Побудова масштабованої інформаційно-пошукової системи для управління річковим басейном на основі реєстрів та онтологічних моделей,» *Математичне моделювання в економіці*. – 2019. - № 2 (15), с. 45-56.
24. EGRIS. International Recommendations on Internally Displaced Persons Statistics, 2020 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/12257846/KS-GQ-20-005-EN-N.pdf/714a7ba0-7ae6-1707-fef4-984a760e0034?t=1610984164036> (дата звернення: 05.01.2025).
25. EGRIDPS, International recommendations on refugee statistics, Publications Office of the European – 2018. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://egrisstats.org/wp-content/uploads/2024-EGRIS_IRRS_FINAL_WEB.pdf (дата звернення: 05.01.2025).
26. Гребенюк Т., Артьомов Р., Ремез Н., В. Броницький В. Використання геоінформаційних систем для моніторингу стану підземних вод. *Енергетика: економіка, технології, екологія 2024(№4)*. - DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2024.315602>.
27. Комп’ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми. Монографія / Під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. — 315 с.
28. Дезірон О. В., Мокін В. Б., Крижановський Є. М. Геоінформаційна система басейну річки Сіверський Донець та її роль в прийнятті управлінських рішень // *Водне господарство України*. – 2006.– №4.– С. 10–15.
29. Інформаційна технологія інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод : монографія / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, М. П. Боцула. — Вінниця : ВНТУ, 2011 — 152 с.

30. Система підтримки прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Дністер з використанням геоінформаційних технологій: Методичний посібник / [Мокін В.Б., Мокін Б.І., М.Я. Бабич та ін.]; під ред. В.Б. Мокіна. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009.— 252 с.
31. Система прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Південний Буг з використанням геоінформаційних технологій.: Методичний посібник / [Мокін В.Б., Мокін Б.І., О.В. Дезірон та ін.]; під ред. В.Б. Мокіна. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009.— 244 с.
32. Екологічний паспорт Вінницької області (2017 рік) — Вінниця, 2011. — 125 с. — <https://menr.gov.ua/news/32629.html>.
33. Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України за басейновим принципом: Монографія / За редакцією В. А. Сташука; [В.А. Сташук, В. Б. Мокін, В. В. Гребінь, О. В. Чунар'юв]. — Херсон : Грін' Д.С., 2014. – 250 с.
34. Shevchenko V. Yu. Pansharpener technology of high resolution multispectral and panchromatic satellite images // V.Yu. Shevchenko, V.V. Hnatushenko, Vik. V. Hnatushenko, O.O. Kavats, *Науковий вісник НГУ*, 2015, No 4 (148). С. 91-98. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/287277945>.
35. Каштан, В., Гнатушенко, В., Удовик, І., Шевцова, О. (2023). Нейромережеве розпізнавання об'єктів забудови на аерофотознімках. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 30–39. doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-1-5>.
36. Introduction: poster presentations. [Electronic resource]. Available: http://www.kumc.edu/SAH/OTEd/jradel/Poster_Presentations/PstrStart.
37. J. van Dalen, H. Gubbels, C. Engel, and K. Mfenyana, “Effective Poster Design,” *Education for Health*. 2002. [Electronic resource]. Available: <https://www.brown.edu/academics/medical/sites/brown.edu.academics.medical/files/uploads/Poster-design.pdf>.

38. M. Boers, "SP0168 Theory of poster design and presentation", *Annals of the Rheumatic Diseases*, 2018; pp. 41. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2017-acular.7127>.
39. Elements of Poster Design. [Електронний ресурс]. Available: <http://www.cis.rit.edu/htbooks/dtp/projects/poster/poster1> (дата звернення: 05.01.2025).
40. Barker E., Phillips V. Creating conference posters: Structure, form and content. *Journal of Perioperative Practice*. 2021. Vol. 31. P. 296–299 <https://doi.org/10.1177/1750458921996254>.
41. Chai S., Zhuang L., Yan F., Zhou Z. Two-stage Content-Aware Layout Generation for Poster Designs. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023. ISBN 979-8-4007-0108-5. DOI: <https://doi.org/10.1145/3581783.3612275>.
42. Типографіка: навчальний посібник / О. Б. Бережна, Т. Ю. Андрющенко. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2021. – 125 с.
43. K. Rayner, J. Yang, S. Schuett, T. J. Slattery the effect of foveal and parafoveal masks on the eye movements of older and younger readers. *Psychology and Aging*, 29(2), p. 205–212 — Режим доступу: <https://doi.org/10.1037/a0036015>.
44. M. T. Borges, E. G. Fernandes, M. I. Cogo Age-related differences during visual search: the role of contextual expectations and cognitive control mechanisms — Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/13825585.2019.1632256>.
45. Daneman M., Hannon ,Brenda, Burton C. and. Are There Age-Related Differences in Shallow Semantic Processing of Text? Evidence From Eye Movements. *Discourse Processes*. 2006. Vol. 42(2). P. 177–203. — https://doi.org/10.1207/s15326950dp4202_5.
46. V. A. McGowan, S. J. White, K. B. Paterson The effects of interword spacing on the eye movements of young and older readers. *Journal of Cognitive Psychology*, 27(5), p. 609–621. — DOI: <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.988157>.
47. Sundar R. P., Becker M. W., Bello N. M., Bix L. Quantifying Age-Related Differences in Information Processing Behaviors When Viewing Prescription Drug

- Labels. *PLOS ONE*. 2012. Vol. 7, N 6. P. e38819. DOI: https://doi.org/10.1207/s15326950dp4202_5.
48. D. D. Salvucci, J. H Goldberg Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. *In Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications (ETRA '00)* — DOI: <https://doi.org/10.1145/355017.355028>.
49. Frey M., Nau M., Doeller C. F. MR-based camera-less eye tracking using deep neural networks. *bioRxiv*. — 2020. — DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.11.30.401323>.
50. Li F., Liu A., Feng W., Zhu H., et al. Relation-Aware Diffusion Model for Controllable Poster Layout Generation. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023. ISBN 979-8-4007-0124-5. DOI: <https://doi.org/10.1145/3583780.3615028>.
51. Chai S., Zhuang L., Yan F. LayoutDM: Transformer-Based Diffusion Model for Layout Generation. 2023. — Режим доступу: https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2023/html/Chai_LayoutDM_Transformer-Based_Diffusion_Model_for_Layout_Generation_CVPR_2023_paper.html.
52. Li Y., Chen J., Bai Y., Cheng J., et al. Design Element Aware Poster Layout Generation. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2024. ISBN 979-8-4007-0436-9. DOI: <https://doi.org/10.1145/3627673.3679557>.
53. Шпинковський О.О. Структурно-логічне представлення освітніх програм. 2024. — Режим доступу: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/59793/1/conf_Mekhanizmy_24-439-440.pdf.
54. Плахтій Н. В. Метод побудови структурно-логічної схеми освітніх компонентів за генетичним алгоритмом : кваліфікаційна робота магістра : 122 Комп'ютерні науки / Н. В. Плахтій ; Хмельниц. нац. ун-т. — Хмельницький, 2024. — 117 с.
55. О. В. Бармак, О. В. Мазурець «Інформаційна технологія автоматизованого визначення термінів у навчальних матеріалах», *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнар. наук.-техн. журн.*

- / Хмельниц. нац. ун-т, Укр. технолог. акад. – Хмельницький, 2015. – № 2. – С. 94–102. – Режим доступу: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/7125>.
56. Н. V. Livinska, О. Makarevych. "Feasibility of improving BERT for linguistic prediction on Ukrainian corpus." *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Н. Livinska, О. Makarevych, Feasibility of Improving BERT for Linguistic Prediction on Ukrainian Corpus. *CEUR workshop Proceedings*, Vol-2604 – 2020. – P. 552-561. – URI: <https://ceur-ws.org/Vol-2604/paper40.pdf>.
57. Berko, Andrii, et al. "The text classification based on Big Data analysis for keyword definition using stemming." 2021 *IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. Vol. 1. IEEE, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSIT52700.2021.9648764>.
58. Cheilytko N., Waldenfels R. von Exploring Word Sense Distribution in Ukrainian with a Semantic Vector Space Model. Ред. Romanyshyn M. Dubrovnik, *Croatia: Association for Computational Linguistics*, 2023. - DOI: <https://doi.org/10.18653/v1/2023.unlp-1.9>.
59. Zaiev, Andrii, and Oleksii Turuta. "Application of gated units to BERT-based models." *Збірник наукових праць ЛОГОΣ (2020): 36-38*. - DOI: <https://doi.org/10.36074/15.05.2020.v2.14>.
60. Ткаченко О.О., Олійник О.В. "Можливості та труднощі використання обробки природної мови." *Практичні та теоретичні питання розвитку науки та освіти (частина I): матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції м. Львів, 19-20 грудня 2020 року*. – Львів: Львівський науковий форум, 2020. – 74с.
61. Супрун, О.П. *Інтелектуальна технологія обробки природної мови [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спец.: 122 - комп'ютерні науки (інформатика) / О.П. Супрун; наук. керівник І.В. Шелехов*. - Суми: СумДУ, 2021. - 44 с.
62. Мокін В. Б. Інформаційна інтелектуальна технологія автоматизованої обробки текстової природно-мовної інформації В. Б. Мокін, М. А. Горащ, Є. М. Крижановський // *Матеріали I науково-технічної конференції підрозділів*

- ВНТУ, Вінниця, 10-12 березня 2021 р. – Електрон. текст. дані. – 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2021/paper/view/12924>.
- 63.В.Б. Мокін, М.А. Гораш, Д. Пасічнюк, О. Радецький. NLP технології для геоприв'язки та класифікації відкритої текстової інформації про масиви вод // Матеріали XV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2020)", м. Вінниця, 8-10 жовтня 2020 р. - Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/30607/KUSS%202020%20MHPR%20-%20NLP.pdf>.
- 64.Мокін В. Б. Інформаційна інтелектуальна технологія автоматизованої геоприв'язки екологічної текстової природномовної інформації / В. Б. Мокін, М. А. Гораш, Є. М. Крижановський, Т. Є. Вуж // Наукові праці ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2020. – № 4. – Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/624>.
- 65.В.Б. Мокін, М.А. Гораш, Д. Пасічнюк, О. Радецький. Концепція інтелектуальної NLP технології для геоприв'язки та класифікації відкритої текстової інформації про масиви вод // Матеріали XV міжнародної конференції "Контроль і управління у складних системах (КУСС-2020)", м. Вінниця, 8-10 жовтня 2020 р. — Вінниця, 2020. – Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30607>.
- 66.Ranjan, N., Mundada, K., Phaltane, K., & Ahmad, S. (2016). A Survey on Techniques in NLP. *International Journal of Computer Applications*, 134(8), 6-9.
- 67.Anderson, M., & Gómez-Rodríguez, C. (2020). Distilling Neural Networks for Greener and Faster Dependency Parsing. *ArXiv*, abs/2006.00844. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.iwpt-1.2>.
- 68.He, H., Shi, X., Mueller, J., Zha, S., Li, M., & Karypis, G. (2021). Distiller: A Systematic Study of Model Distillation Methods in Natural Language Processing. *ArXiv*, abs/2109.11105. <https://doi.org/10.18653/v1/2021.sustainlp-1.13>.

69. Sanh, V., Debut, L., Chaumond, J., & Wolf, T. (2019). DistilBERT, a distilled version of BERT: smaller, faster, cheaper and lighter. *ArXiv* – DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.01108>.
70. Sun, S., Cheng, Y., Gan, Z., & Liu, J. (2019). Patient Knowledge Distillation for BERT Model Compression., 4322-4331. <https://doi.org/10.18653/v1/D19-1441>.
71. Yuan, F., Shou, L., Pei, J., Lin, W., Gong, M., Fu, Y., & Jiang, D. (2020). Reinforced Multi-Teacher Selection for Knowledge Distillation., 14284-14291. <https://doi.org/10.1609/aaai.v35i16.17680>.
72. Mukherjee, S., & Awadallah, A. (2020). XtremeDistil: Multi-stage Distillation for Massive Multilingual Models., 2221-2234. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-main.202>.
73. Jafari, A., Rezagholizadeh, M., & Ghodsi, A. (2023). Improved knowledge distillation by utilizing backward pass knowledge in neural networks. *ArXiv*, abs/2301.12006. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.12006>.
74. Lin, Y., Chen, K., & Kao, H. (2023). LAD: Layer-Wise Adaptive Distillation for BERT Model Compression. *Sensors* (Basel, Switzerland), 23. <https://doi.org/10.3390/s23031483>.
75. Kasneci E., Seßler K., Küchemann S., Bannert M., et al. ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education. *Learning and Individual Differences*. 2023. Vol. 103. P. 102274. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>.
76. Sreekanth D., Dehbozorgi N. Enhancing Engineering Education Through LLM-Driven Adaptive Quiz Generation // C-DAY FALL 2023: Proceedings of the Conference. Kennesaw, 2023. P. 45–52. – Режим доступа: <https://digitalcommons.kennesaw.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1399&context=cday>.
77. Fahl W. GraphWiseLearn: Personalized Learning through Semantified TEL, Leveraging QA-Enhanced LLM-Generated Content [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://2024.eswc-conferences.org/wp-content/uploads/2024/05/77770405.pdf>.

78. Goslen A., Kim Y.J., Rowe J., Lester J. LLM-Based Student Plan Generation for Adaptive Scaffolding in Game-Based Learning Environments // *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. – 2024. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s40593-024-00421-1>.
79. Hu B., Zheng L., Zhu J., Ding L., Wang Y., Gu X. Teaching Plan Generation and Evaluation with GPT-4: Unleashing the Potential of LLM in Instructional Design // *IEEE Transactions on Learning Technologies*. – 2024. – Т. 17, С. 1471-1485. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/tlt.2024.3384765>.
80. Ma K., Cheng H., Zhang Y., Liu X., Nyberg E., Gao J. Chain-of-Skills: A Configurable Model for Open-Domain Question Answering // *Proceedings of the 61st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*. – Торонто, 2023. – С. 1599-1618. – Режим доступу: <https://doi.org/10.18653/v1/2023.acl-long.89>.
81. Winata G., Xie L., Radhakrishnan K., Gao Y., Preotiuc-Pietro D. Efficient Zero-Shot Cross-Lingual Inference via Retrieval // *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Natural Language Processing and the 3rd Conference of the Asia-Pacific Chapter of the Association for Computational Linguistics (Volume 2: Short Papers)*. – Nusa Dua, November 2023. – С. 93-104. – Режим доступу: <https://doi.org/10.18653/v1/2023.ijcnlp-short.11>.
82. Conceição S.I.R., Sousa F., Silvestre P., Couto F.M. LasigeBioTM at SemEval-2023 Task 7: Improving Natural Language Inference Baseline Systems with Domain Ontologies // *Proceedings of the 17th International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval-2023)*. – Торонто, 13-14 липня 2023. – С. 10-15. – Режим доступу: <https://doi.org/10.18653/v1/2023.semeval-1.2>.
83. Kolagar Z., Zarcone A. HumSum: A Personalized Lecture Summarization Tool for Humanities Students Using LLMs // *Proceedings of the 1st Workshop on Personalization of Generative AI Systems (PERSONALIZE 2024)*. – St. Julians, березень 2024. – С. 36-70. – Режим доступу: <https://aclanthology.org/2024.personalize-1.4>.

84. Gong Z., Liu J., Wang Q., Yang Y., Wang J., Wu W. PreQuant: A Task-Agnostic Quantization Approach for Pre-Trained Language Models // *Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2023*. – Toronto, 9-14 July 2023. – С. 8065-8079. – DOI: <https://doi.org/10.18653/v1/2023.findings-acl.511>.
85. Allen, James. 1984. Towards a General Theory of Action and Time. *Artificial Intelligence*, 23, 123–154. . – DOI: [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(84\)90008-0](https://doi.org/10.1016/0004-3702(84)90008-0).
86. Білецький Б.С. «Temporal direction of words». Version 18. 07.03.2024 // Kaggle. – Режим доступу: <https://www.kaggle.com/code/bohdanbeletskyi/temporal-direction-of-words>.
87. Ballesteros, M., Papadopoulou, O., & Goyal, N. Severing the edge between before and after: Neural architectures for temporal ordering of events // *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*. – 2020. – С. 5068–5079.
88. Ning, Q., Subramanian, S., & Roth, D. (2019). An Improved Neural Baseline for Temporal Relation Extraction. In *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing*. Association for Computational Linguistics. URI: <https://aclanthology.org/D19-1642>.
89. Goyal, T., & Durrett, G. Embedding time expressions for deep temporal ordering models // *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. – 2019. – С. 4401–4411.
90. Liu, Y., Ma, J., & Li, P. Predicting higher-order patterns in temporal networks // *Proceedings of the 30th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM)*. – 2021. – С. 3219–3228.
91. Xia, W., Li, Y., & Li, S. Graph neural point process for temporal interaction prediction // *Proceedings of the 39th International Conference on Machine Learning (ICML)*. – 2023. – С. 1–10.
92. В. Б. Мокін, І. В. Варчук, і Є. М. Крижановський, Інформаційна технологія аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язних геоінформаційних систем, моногр. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2019, 121 с.

93. Інформаційні технології автоматизації обробки параметрів геоінформаційних систем з геометричними мережами : монографія / В. Б. Мокін, В. Г. Сторчак, Є. М. Крижановський та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 194 с.
94. A. N. Montanari, and L. A. Aguirre, “Observability of Network Systems: A Critical Review of Recent Results,” *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, № 31, pp. 1348-1374, 2020. [Online]. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s40313-020-00633-5>.
95. L. A. Aguirre. Controllability and observability of linear systems: some noninvariant aspects. *IEEE Transactions on Education*. 1995. Vol. 38, N 1. P. 33–39.
96. Наука про дані: машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних : електронний навчальний посібник / В. Б. Мокін, М. В. Дратований – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 258 с.
97. Білецький Б.С., Мокін В.Б. «Poster Dataset Prediction». Version 15. 08.04.2020 // Kaggle. – Режим доступу: <https://www.kaggle.com/code/bohdanbeletskyi/poster-dataset-prediction>.
98. Білецький Б.С., Мокін В.Б. «Poster Recommendation: Decision Tree». Version 22. 08.04.2020 // Kaggle. – Режим доступу: <https://www.kaggle.com/code/bohdanbeletskyi/decision-tree-poster-recomendation>.
99. Мокін В. Б., Крижановський Є. М., Скорина Л. М., Гребінь В. В.. Технологія оптимізації управління водними ресурсами басейну р. Дністер шляхом автоматизації складання його водогосподарського балансу. Технологія оптимізації управління водними ресурсами басейну р. Дністер шляхом автоматизації складання його водогосподарського балансу [Текст] / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, Л. М. Скорина, В. В. Гребінь // *XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях»*, 5–9 жовтня 2015. – Київ, 2015. – С. 131–134. – Режим доступу: http://itgip.org/wp-content/uploads/2013/11/Book_2015_web.pdf.
100. В. Б. Мокін та ін., «Розробка моделі водогосподарського балансу української частини районів басейнів річок Дунай, Західний Буг та суббасейну

річки Десна. Верифікація та адаптація водогосподарських балансів української частини районів басейнів річок Дон, Дністер, району басейну річки Південний Буг та суббасейну річки Прип'ять до вимог нормативно-правових актів Мінприроди,» звіт про НДР: № 2853. ВНТУ; Київ, Україна, 2017, 108 с. № ДР 0117U005018. Інв. № 0217U002783.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А - СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

[1] В. Б. Мокін і Б. С. Білецький, Інтелектуальна технологія макетування якісних афіш, *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 73-82 (Груд 2019.) <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-147-6-73-82> (**Index Copernicus, Наукове фахове видання України, категорія «Б» зі спеціальності 126**).

[2] Білецький Б., Мокін В. Інтелектуальна технологія аналізу темпоральної упорядкованості елементів структурно-логічної схеми освітньої програми. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, Хмельницький, 2024 (4), 401–408. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-49> (**Index Copernicus, Наукове фахове видання України, категорія «Б» зі спеціальності 126**).

[3] В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, А. М. Лучко, Б. С. Білецький, і С. О. Жуков, «Метод оптимізації інформаційних моделей масштабованих у просторі аналітичних веб-систем за критерієм повноти їхньої топологічної спостережуваності», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 6, с. 131–141, Груд. 2021. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-159-6-131-141> (**Index Copernicus, Наукове фахове видання України, категорія «Б» зі спеціальності 126**).

[4] Б. С. Білецький, В. Б. Мокін «Визначення темпоральної спрямованості в текстах: нейромережевий підхід для хронологічного впорядкування на основі аналізу пар слів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 6, Груд. 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-121-128> (**Index Copernicus, Наукове фахове видання України, категорія «Б» зі спеціальності 126**).

[5] Білецький Б. С. Інтелектуальна інформаційна технологія оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах [Електронний ресурс] / Б. С. Білецький // *Матеріали LIV Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. – Електрон. текст. дані. –

2025. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2025/paper/view/24428>.

[6] Білецький Б.С. Адаптація методу дистиляції знань природною мовою для класифікації темпоральних фраз. *Матеріали LIII Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 20 – 22 березня 2024 р. Збірник наукових праць [Електронний ресурс], <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/788/1373/2632-1>.

[7] Білецький Б. С. Використання методів оброблення природної мови для вилучення визначень слів із контексту [Електронний ресурс] / Б. С. Білецький // *Матеріали LII Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 21-23 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2023/paper/view/18886>.

[8] В. Б. Мокін, Б. С. Білецький. Аналіз підходів до оптимізації об'єктів на основі інтелектуальних технологій відстеження траєкторії погляду. *Матеріали LI Науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації ВНТУ*, Вінниця, 31 травня – 1 червня, 2022 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/download/16163/13570>.

[9] Б.С. Білецький. Розроблення веб-системи обліку надання допомоги вимушено внутрішньо переміщеним особам в Україні. *Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток: колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції* (14-16 листопада 2022 р.). Київ, 2022. С. 197-199. – Режим доступу: https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-06_UDK_book_Monografia_48x210.pdf.

ДОДАТОК Б – АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС

З А Т В Е Р Д Ж У Ю
 Керівник ТОВ «ТВОРИ»
 Дмитро КОРЗУН
 «10» _____ 2025р.



АКТ

**про впровадження результатів дисертаційної роботи
 «Інтелектуальна інформаційна технологія оптимізації параметрів
 текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах»
 Білецького Богдана Сергійовича**

Цей акт підтверджує, що результати дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії Білецького Б. С., рекомендовані до впровадження в практичну діяльність друкарні-видавництва «ТВОРИ» при макетуванні графічних виробів: постерів, афіш, реклами тощо. Зокрема цінними є наступні отримані результати дослідження Білецького Б.С.:

- Удосконалений метод макетування графічних і текстових елементів на графічних об'єктах, як багаторівневих систем з використанням передтренованої інтелектуальної моделі, що визначає оптимальні значення інших параметрів.
- Використання методу впорядкування структурно-логічних схем, що дозволяє прискорити проєктування подібних.
- Універсальна технологія оптимізації параметрів текстових/графічних елементів в багаторівневих схемах дає можливість прискорити проєктування афіш, схем та інших продуктів, що є корисним для роботи нашого видавництва.

Даний акт не є основою для проведення фінансових взаєморозрахунків.

Керівник

_____ Дмитро Корзун

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Dmytro Korzun', written over a horizontal line.

ДОДАТОК В – АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи та організації освітнього процесу Вінницького національного технічного університету

доц. Олександр ПЕТРОВ

04 2025 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Білецького Богдана Сергійовича

«Інтелектуальна інформаційна технологія оптимізації параметрів текстових та графічних об'єктів у багаторівневих системах», представленій до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології, в навчальному процесі

Комісія Вінницького національного технічного університету у складі:

голова комісії – декан Факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації (ФІТА), к.т.н, доцент Севастьянов В. М. та члени комісії – заступник декана з навчально-методичної роботи ФІТА, ст. викладач каф. САІТ Присяжнюк В. В., заступник завідувача кафедри системного аналізу та інформаційних технологій (САІТ) ФІТА, к.т.н., доцент Крижановський Є. М., склала цей акт про підтвердження того, що дійсно у Вінницькому національному технічному університеті під час викладання дисципліни «Інформаційні технології моніторингу та аналізу стану складних систем» для аспірантів, які навчаються за освітньою програмою «Інформаційні системи та технології» рівня «доктор філософії» цієї ж спеціальності 126, впроваджено результати дисертаційної роботи на здобуття доктора філософії аспіранта кафедри САІТ Білецького Богдана Сергійовича у низці лекцій та практичних занять у сфері інтелектуальних інформаційних технологій.

При викладанні цієї дисципліни використовуються такі результати досліджень, отримані у дисертаційній роботі Білецького Б.С.:

- методологія системного аналізу багаторівневих, багатозв'язних систем з невизначеністю;
- метод визначення темпоральної спрямованості та використання його для впорядкування текстових елементів за допомогою моделей штучного інтелекту на базі відомих Python-бібліотек.

Використання зазначених результатів дозволило підвищити якість навчального процесу із згаданої дисципліни.

Крім того, у межах навчального процесу викладачеві дисципліни «Інтелектуальні технології оброблення зображень» асистентові кафедри САІТ Лосенку А. В. було передано розроблене здобувачем методичне, алгоритмічне та програмне забезпечення для синтезу афіш за частковими вхідними даними.

Гарантові освітньо-професійної програми «Прикладні інформаційні технології» (рівень «бакалавр») спеціальності 126 доцентові кафедри САІТ, к.т.н., доц. Крижановському Є. М. передано рекомендації щодо темпорального упорядкування окремих освітніх компонентів у структурно-логічній схемі цієї програми.

Голова комісії

Володимир СЕВАСТЬЯНОВ

Члени комісії

Василь ПРИСЯЖНЮК

Свгеній КРИЖАНОВСЬКИЙ