

ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця на правах
рукопису

Мельник Андрій Миколайович

УДК 519.876.5 : 004.891.2

ДИСЕРТАЦІЯ

**Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та
моделювання складних об'єктів**

01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи
(12 – інформаційні технології)

Подається на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

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



А.М. Мельник

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

*Ідентичність всіх примірників дисертації
ЗАСВІДЧУЮ:*

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 58.082.02



/М.П. Комар/

Тернопіль– 2022

АНОТАЦІЯ

Мельник А. М. Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об'єктів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, Західноукраїнський національний університет Міністерства освіти і науки України, Тернопіль, 2022.

Підготовка здійснювалась на кафедрі комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету Міністерства освіти і науки України.

Спеціалізована вчена рада Д 58.082.02 Західноукраїнського національного університету Міністерства освіти і науки України, Тернопіль.

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну проблему зниження обчислювальної складності структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів з одночасним забезпеченням гарантованої точності цих моделей в межах, необхідних для розв'язування задач прийняття рішень та дослідження властивостей цих об'єктів.

У першому розділі здійснено аналіз методів та засобів побудови моделей характеристик складних об'єктів в умовах невизначеності. При цьому, проведено порівняльний аналіз недоліків та переваг методів дедуктивного та індуктивного підходів. Виділено випадки, в яких, для побудови моделей характеристик складних об'єктів, обґрунтовано використання індуктивного підходу та методів аналізу інтервальних даних. Розглянуто постановки задач структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів у вигляді різницевих рівнянь та проведено аналіз відомих методів їх розв'язання. Обґрунтовано для зниження обчислювальної складності їх реалізації використання знання-орієнтованого підходу як до опису

предметної області досліджуваного об'єкта, так і до області побудови даного класу математичних моделей. Окреслено ряд завдань щодо побудови систем, орієнтованих на знання та моделі. Здійснено постановку задач дисертаційного дослідження.

У другому розділі розглянуто метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. Показано його вдосконалення на основі введення обчислювальних процедур на різних фазах поведінкової моделі бджолоїної колонії, зокрема адаптивного налаштування вибору структурних елементів у спосіб обчислення для кожного елемента ймовірності його вибору при синтезі поточної моделі. Описано алгоритм реалізації методу. Проведено обчислювальні експерименти для дослідження обчислювальної складності. На тестових прикладах підтверджено підвищення ефективності вдосконаленого методу.

У третьому розділі запропоновано нову концепцію ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яка передбачає поєднання методів аналізу інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваного об'єкта, так і до області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології. Також у цьому розділі наведено результати розробки, на підставі новоствореної концепції, нового гібридного методу структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. Представлено дослідження щодо створення та використання репозиторію ряду інтервальних дискретних моделей в екології, який вміщує онтологічний опис як предметної області застосування цих моделей, так і умови їх розробки.

У четвертому розділі запропоновано метрики оцінки актуальності інформації на різних веб-ресурсах. На цій основі розроблено метод верифікації моделей, який ґрунтується на поєднанні методу фільтрування даних та застосуванні метрик оцінки актуальності інформації, що у сукупності забезпечує повноту моделі та знижує обчислювальну складність її

ідентифікації. Досліджено їх ефективність та показано можливості їх застосування для забезпечення повноти моделі.

У п'ятому розділі створено нове комп'ютерне середовище для математичного моделювання на основі інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яке ґрунтується на знання-орієнтованому підході опису області побудови даного класу математичних моделей із застосуванням онтології, що забезпечує його адаптацію та інтерпретацію в програмний код під задану предметну область та під конкретні вимоги користувача. Наведено елементи рішень цього середовища, наприклад реалізована відкрита архітектура програмного забезпечення, діаграми класів та реляційні моделі баз даних. Також описано програмну реалізацію комп'ютерного середовища з елементами користувацького інтерфейсу.

Шостий розділ роботи присвячено застосуванню розроблених методів, репозиторію інтервальних моделей та програмного комплексу для моделювання характеристик складних об'єктів до розв'язування прикладних задач, а саме: для моделювання забруднення атмосфери шкідливими викидами у вихлопних газах автотранспорту; моделювання електрофізіологічних характеристик тканин хірургічної рани в задачах виявлення місцезнаходження зворотного гортанного нерва під час операцій на щитоподібній залозі; моделювання динаміки реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж. Досліджено ефективність застосування розроблених методів для розв'язування вищенаведених прикладних задач.

Запропоновано та обґрунтовано концепцію ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яка передбачає поєднання методів аналізу інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваного об'єкта так і області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології, що у сукупності створило можливість розробки нових, більш ефективних з обчислювальної точки зору методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів.

Запропоновано та обґрунтовано новий гібридний метод структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який на відміну від існуючих ґрунтується на поєднанні методів інтервального аналізу, поведінкових моделей бджолоїної колонії та знання-орієнтованого підходу до опису предметної області об'єктів на основі онтології, що у сукупності забезпечило зниження обчислювальної складності структурної ідентифікації.

При розробці комп'ютерного середовища для інтервального моделювання запропоновано та обґрунтовано метод верифікації моделей на основі поєднання методу фільтрування даних та метрики оцінки актуальності інформації, що у сукупності забезпечує повноту моделі та знижує обчислювальну складність на її ідентифікацію.

Розроблено інтервальну дискретну модель у вигляді різницевого рівняння, що описує динаміку реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж, в якій на відміну від існуючих, враховано реакції користувачів на інформаційні повідомлення, що дало змогу побудувати їх стійкий портрет та оптимальний розклад публікацій спеціалізованої групи для максимізації кількості реакцій на повідомлення.

Удосконалено метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який на відміну від існуючих, містить обчислювальні процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів у спосіб встановлення для кожного елемента множини ймовірності його вибору і зміни цього розподілу на різних фазах поведінкової моделі бджолоїної колонії, що у сукупності знижує обчислювальну складність реалізації методу.

Набули подальшого розвитку комп'ютерні середовища для інтервального моделювання та аналізу, в яких, на відміну від існуючих, реалізована відкрита архітектура програмного забезпечення, що у сукупності забезпечує зниження часової складності процедур як розробки, так і застосування інтервальних математичних моделей.

Набули подальшого розвитку репозиторії інтервальних дискретних моделей забруднення атмосфери автотранспортом та інтервальних моделей візуалізації зворотного гортанного нерву під час операції на щитоподібній залозі, які, на відміну від існуючих, вміщують онтологічний опис як предметної області їх застосування, так і умов розробки цих моделей, що у сукупності спрощує процедури побудови зазначеного класу математичних моделей для користувачів.

Розроблено програмний комплекс для моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу, зокрема використано об'єктно-орієнтований підхід до програмування, з використанням технології Spring Framework на мові програмування Java, а також інтерпретатора Python. В якості Python інтерпретатора було обрано Jython, який повністю написаний на Java і добре підходить для реалізації спеціалізованих аплетів.

Проведено ряд досліджень, які дозволили підтвердити ефективність запропонованих у роботі методів та засобів.

Ключові слова: математичне моделювання, знання-орієнтовані системи, управління знаннями, онтологія, репозиторій моделей, структурна ідентифікація, поведінкова модель бджолиної колонії, інтервальна система нелінійних алгебричних рівнянь, система підтримки прийняття рішень, програмне забезпечення, інструментальні засоби.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у періодичних виданнях, індексованих у наукометричних базах

Scopus та Web of Science

1. Dyvak M., Pukas A., Melnyk A., Klos-Witkowska A., Karpinski M. Mathematical model in task of recurrent laryngeal nerve identification by electrophysiological method. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 2017. – Issue 12. – P. 266–270. ISSN: 0033-2097. (Індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus та відноситься до Q3 відповідно до SCImago Journal & Country Rank).

2. Dyvak M., Porplytsya N., Maslyiak Y., Pukas A., Melnyk A. Method of identification of models of objects with distributed parameters with a spatially distributed control based on interval data analysis. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2017. – Issue 2. – P. 150–159. ISSN: 2313-688X. (Індексується в міжнародній наукометричній базі *Web of Science* та відноситься до Q4 відповідно до *Journal Citation Reports*).

3. Dyvak M., Kovbasisty A., Melnyk A., Turchyn L., Martsenyuk Y. System for web resources content structuring and recognizing with the machine learning elements. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2018. – Issue 3. – P. 128–134. ISSN: 2313-688X. (Індексується в міжнародній наукометричній базі *Web of Science* та відноситься до Q4 відповідно до *Journal Citation Reports*).

4. Susla M., Pasichnyk R., Pasichnyk N., Melnyk A. Adjustment of the model of the agent-determinant type in the forecasting of pollution on the section of the city road. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2300. P. 38-41. ISSN: 1613-0073. (Індексується в міжнародній наукометричній базі *Scopus*).

5. Tymchyshyn V., Porplytsya N., Melnyk A., Tymchyshyn B. Software for modelling the air pollution by vehicles. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2300. P. 207-210. ISSN: 1613-0073. (Індексується в міжнародній наукометричній базі *Scopus*).

6. Dyvak M., Papa O., Melnyk A., Pukas A., Porplytsya N., Rot A. Interval model of the efficiency of the functioning of information web resources for services on ecological expertise. *Mathematics*, 2020. - Vol. 8 (12). – P. 1–12. ISSN: 2227-7390 (Індексується в міжнародній наукометричній базі *Scopus* та відноситься до Q2 відповідно до *SCImago Journal & Country Rank*).

7. Dyvak M., Melnyk A., Kopnický M., Dostalek L., Krytskyi I., Dyvak A. Using an ontological approach for improvement of the interval model in the problem of the recurrent laryngeal nerve identification during thyroid surgery. *CEUR-WS*. 2021. Vol. 3038. P. 317-322. ISSN: 1613-0073. (Індексується в міжнародній наукометричній базі *Scopus*).

8. Androshchuk O., Berezenskyi R., Lemeshko O., Melnyk, A., Huhul, O. Model of Explicit Knowledge Management in Organizational and Technical Systems. *International Journal of Computing*, 2021. – Vol. 20, Issue 2, P. 228–236. ISSN:

2312-5381. (Індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus та відноситься до Q3 відповідно до SCImago Journal & Country Rank).

9. Dyvak M., Melnyk A., Rot A., Hernes M., Pukas A. Ontology of Mathematical Modeling Based on Interval Data. *Complexity*, 2022. - Vol. 2022, Article Id: 8062969. – P. 1–19. ISSN: 1099-0526, <https://doi.org/10.1155/2022/8062969> (Індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus та відноситься до Q1 відповідно до SCImago Journal & Country Rank).

10. Dyvak M., Melnyk A., Mazepa S., Stetsko M. An Ontological Approach to Detecting Irrelevant and Unreliable Information on Web-Resources and Social Networks. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2022. – Vol. 831, P. 481–492. ISSN: 1876-1119. (Індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus та відноситься до Q4 відповідно до SCImago Journal & Country Rank).

Статті у наукових виданнях України

11. Мельник А. М. Роль моделі управління процесом автоматизованого навчання в підвищенні відвідуваності веб-сайтів. *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки, 2016. – №3. – С.15–19.

12. Шевчук Р.П., Мельник А. М. Мобільна кіберфізична система для динамічного відображення інформації про об'єкти на цифровій карті місцевості. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2017. – Том. 27. – №4. – С. 170–176.

13. Мельник А. М. Методи та засоби виявлення неактуальної та недостовірної інформації на web-ресурсах. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*, 2020. – Том. 10. – №3-4. – С. 167–176.

14. Дивак М. П., Мельник А. М., Ковбасистий А. В., Папа О. А. Підхід до математичного моделювання ефективності web-ресурсів. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, 2020. – Том. 38. – №2. – С. 29–37.

15. Дивак М. П., Мельник А. М., Папа О. А. Математичне та програмне забезпечення інтелектуального модуля прикладних програмних систем для надання адміністративних послуг щодо проведення екологічної експертизи. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, 2020. – Том. 49. – №3. – С. 66–76.

16. Дивак М. П., Мельник А. М., Кедрін Є. С., Frank O. Інтервальна модель портрету користувачів тематичної групи з проблем екології у соціальній мережі. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, 2021. – Том. 41. – №1. – С. 78–88.
17. Дивак М. П., Манжула В.І., Мельник А. М., Тимчишин В. С.. Система моніторингу забруднення повітря автотранспортом на базі автономного аеромобільного вимірювального комплексу. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, 2021. – Том. 42. – №2. – С. 73–84.
18. Мельник А.М., Дивак М.П., Пасічник Р.М. Метод виявлення неактуальної інформації в сервісно-орієнтованих корпоративних системах на прикладі систем оцінювання якості ґрунтів. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, 2021. – Том. 50. – №1. – С. 45–54.
19. Dyvak M., Melnyk A., Pukas A., Dostalek L., Control of mathematical modeling process of dynamics of harmful substances concentrations on the basis of ontological approach. *Computational Problems of Electrical Engineering*, 2022. – Vol. 12, Issue 1, P. 7–16.
20. Мельник А. М. Онтологія як програмна надбудова до системи для математичного моделювання на основі інтервальних даних. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, 2022. – Том. 54. – №2. – С. 26–38.
21. Дивак М. П., Манжула В.І., Мельник А. М., Пукас А. В. Метод структурної ідентифікації нелінійних інтервальних моделей статичних об'єктів. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, 2022. – Том. 54. – №2. – С. 103–114.
22. Мельник А. М. Архітектура програмного забезпечення для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, 2022. – №3. – С. 265–273.
23. Мельник А. М., Дивак М. П., Манжула В.І. Моделювання динаміки концентрацій шкідливих викидів автотранспорту на основі поєднання методів інтервального аналізу та онтологічного підходу. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2022. – №2. – С.14–23.

24. Мельник А. М., Дивак М. П. Метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2022. – №3. – С.61–72.

Монографії

25. Дивак М.П., Пукас А.В., Порплиця Н. П., Мельник А. М. Прикладні задачі структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів: монографія. – Тернопіль : «Університетська думка», 2021. – 212 с.

Статті у матеріалах міжнародних конференцій, які індексуються у наукометричних базах Scopus або Web of Science

26. Pasichnyk N., Melnyk A., Dobrovolska N. Management the website attendance based on the projected traffic // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XII International Conference CADSM'2013. – Polyana – Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”. – 2013. – P. 277.

27. Roman P., Natalia P., Andriy M., Iryna S. Concept model of resources accumulation and operational management in biotechnology, biomedical and Web information systems // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XIII International Conference CADSM'2015. – Polyana–Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”, 2015. – P. 152–155.

28. Lendyuk T., Melnyk A., Rippa S., Golyash I., Shandruk, S. Individual learning path building on knowledge-based approach // Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2015, Warsaw, Poland, September 24–26, 2015. – P. 949–954.

29. Melnyk A., Shpintal M., Spilchuk V., Susla M. Method for evaluating the efficiency of systems for distance education // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the XIIIth International Conference TCSET'2016. – Lviv – Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2016. – P. 855–857.

30. Kasianchuk M., Yakymenko I., Pazdriy I., Melnyk A., Ivasiev S. Rabin's modified method of encryption using various forms of system of residual classes // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XIV International Conference CADSM'2017. – Polyana – Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”, 2017. – P. 222–224.

31. Kovbasistyi A., Melnyk A., Dyvak M., Brych V., Spivak I. Method for detection of non-relevant and wrong information based on content analysis of web resources // Perspective Technologies and Methods in MEMS Design: Proceedings of the XIII-th International Conference ‘MEMSTECH’2017’. – Lviv – Polyana: Lviv Polytechnic National University, 2017. P. 154–156.

32. Dyvak M., Pukas A., Oliynyk I., Melnyk A. Selection the “saturated” block from interval system of linear algebraic equations for recurrent laryngeal nerve identification // Proceedings of the 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv – Novoiavorivsk, Ukraine, August 21–25, 2018. – P. 444–448.

33. Yakymenko I., Kasianchuk M., Ivasiev S., Melnyk A., Nykolaichuk Y. Realization of Rsa cryptographic algorithm based on vector-module method of modular exponentiation // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the XIVth International Conference TCSET'2018. – Lviv – Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2018. P. 550–554.

34. Pasichnyk R., Susla M., Pasichnyk N., Melnyk A. Model of pollution on the local section of an urban highway and its identification method // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science: Proceedings of the XIVth International Conference ‘TCSET’2018’. Lviv–Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2018. P. 864–867.

35. Susla M., Pasichnyk R., Pasichnyk N., Melnyk A., Shcherbiak I., Akimjak A. Principles of Building a Mathematical Model for the Influence of Mineral Fertilizers on Grain Yield // 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ‘ACIT’2019’, Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019. P. 145–148.

36. Dyvak M., Kovbasisty A., Melnyk A., Shcherbiak I., Huhul O. Recognition of Relevance of Web Resource Content Based on Analysis of Semantic Components // 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ‘ACIT’2019’, Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019. P. 297–302.
37. Shevchuk R., Melnyk A., Opalko O., Shevchuk H. Software for Automatic Estimating Security Settings of Social Media Accounts // 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2020. – P. 769–773.
38. Dyvak M., Melnyk A., Kovbasisty A., Shevchuk R., Huhul O., Tymchyshyn V. Mathematical Modeling of the Estimation Process of Functioning Efficiency Level of Information Web-Resources // 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2020. – P. 492–496.
39. Susla M., Pasichnyk R., Melnyk A., Pasichnyk N., Vasylykiv O., Androshchuk O. Formalization of Scientific Researches Results in Corporate Knowledge Bases As a Tool of Their Accumulation // 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2020. – P. 488–491.
40. Dyvak M., Melnyk A., Dyvak N., Papa O., Ostroverkhov V., Lobodina Z. Intelligent Module of Information Processing for the Applied Software System to Provide Administrative Services // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ‘ACIT’2021’, Deggendorf, Germany, 2021. – P. 604–607.
41. Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Yushko A., Romanyuk M., Honchar L. Transactional Business Application Based on Microservice Architecture // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ‘ACIT’2021’, Deggendorf, Germany, 2021. – P. 564–567.
42. Dyvak M., Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Valchyshyn S., Romanets I. Software Architecture for Modeling the Interval Static and Dynamic Objects // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ‘ACIT’2021’, Deggendorf, Germany, 2021. – P. 572–575.

43. Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Smal V., Fenovka V., Pylypiuk T. Implementation of Service-Oriented Architecture for Static and Dynamic Objects Interval Modeling Software // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ‘ACIT’2021’, Deggendorf, Germany, 2021. – P. 568–571.

44. Mazepa S., Banakh S., Melnyk A., Pugach S., Yavorska O., Golota N. An Ontological Approach to Detecting Fake News in Online Media // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ‘ACIT’2021’, Deggendorf, Germany, 2021. – P. 531–535.

45. Melnyk A., Huhul O., Shevchuk R., Shcherbiak I., Martsenyuk Y., Kovbasistyi A. Intelligent System of Analyzing the Structure of Web-resources // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ‘ACIT’2021’, Deggendorf, Germany, 2021. – P. 560–563.

46. Shevchuk R., Kohut I., Chopyk P., Madiudia I., Melnyk A. Cyber-Physical Integrated Transport and Warehouse Logistics System for Courier Delivery Service // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ‘ACIT’2021’, Deggendorf, Germany, 2021. – P. 652–656.

47. Dyvak M., Melnyk A., Kedrin Y. Interval model of the user reactions to messages in thematic groups of social networks // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the XIVth International Conference TCSET’2022. – Lviv – Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2022. P. 837–840.

48. Pasichnyk R., Melnyk A., Bilous I., Duma L., Pushkar B., Monko R. Historical Training Game Model with Mathematical and Information Aspects // 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 2022. – P. 84–88.

49. Dyvak M., Melnyk A., Dostalek L., Ostroverkhov V., Honchar L., Romanets I. Repository of Interval Models of Dynamics of Concentrations of Harmful Emissions of Motor Transport // 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 2022. – P. 89–94.

50. Dyvak M., Melnyk A., Martsenyuk Y., Rohatynska N., Brukhanskyi R., Pytel S. Evolutionary Method Based on Artificial Bee Colony and Ontological Approach for Structural Identification of Interval Discrete Models of Objects with Distributed Parameters // 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 2022. – P. 95–100.

51. Melnyk A., Shevchuk R., Huhul O., Shcherbiak I., Shevchuk A., Franko Y. Software Architecture for Mathematical Modelling Based on Interval and Ontology Approach // 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 2022. – P. 101–105.

52. Shevchuk R., Tykhiy R., Melnyk A., Karpinski M., Owedyk Y., Yurchyshyn T. Cyber-physical System for Dynamic Annotating Real-world Objects Using Augmented Reality // 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 2022. – P. 392–395.

Статті та тези доповідей у збірниках праць конференцій

53. Мельник А., Гарах О. Метод синхронізації баз даних за допомогою хеш-функцій на основі нелінійного розбиття таблиць // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали II Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2012. – Тернопіль: ТНЕУ, 2012. – С. 183.

54. Мельник А., Сіткар Т. Формування фахових знань за допомогою інтелектуальної навчальної системи // Інформаційне суспільство: стан і перспективи розвитку у світлі регіональних особливостей: матеріали між нар. наук.-практ. Конференції. – 11-14 жовтня 2012 – Краків-Жешів-Львів-Тернопіль. – Тернопіль: ТІСІТ, 2012. – С. 30-31.

55. Мельник А., Миць О. Підвищення ефективності пошуку документів в інтернет із врахуванням подібності веб-сторінок // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали III Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2013. – Тернопіль: ТНЕУ, 2013. – С. 212.

56. Мельник А., Панченко О. Модель онтології предметної області // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали III Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2013. – Тернопіль: ТНЕУ, 2013. – С. 213.

57. Мельник А., Лабик Д. Метод "прозорої журналізації" для організації процесу тестування web-орієнтованих інформаційних систем // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали V Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2015. – Тернопіль: ТНЕУ, 2015. – С. 139–141.

58. Мельник А., Посуляк Р., Буца В. Інформаційна технологія ризик-орієнтованого оцінювання функціональності web-орієнтованих систем // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали V Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2015. – Тернопіль: ТНЕУ, 2015. – С. 142–144.

59. Мельник А., Співак І., Сирник О., Дробот І. Побудова адаптивної моделі користувача в інтерфейсах Web-орієнтованих систем // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали VI Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2016. – Тернопіль: ТНЕУ, 2016. – С. 137–139.

60. Мельник А., Проць С. Моделюючий алгоритм для оцінки надійності складних багатofункціональних технічних систем // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали VI Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2016. – Тернопіль: ТНЕУ, 2016. – С. 28–30.

61. Мельник А., Пик І. Застосування генетичного алгоритму для оцінки ризиків проекту // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали VI Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2016. – Тернопіль: ТНЕУ, 2016. – С. 135–137.

62. Жидик М., Мельник А., Шпак В., Ковбасистий А. Комп'ютерна мережа для моделі "розумного будинку" // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю АСІТ'2017. – Тернопіль: ТНЕУ. – 2017. – С. 34.

63. Мельник А., Тимчишин В., Ковбасистий А., Романюк М. Математичне та програмне забезпечення управління реплікаціями в базах даних типу NoSQL // Комп'ютерні інформаційні технології: матеріали школи–семінару молодих вчених і студентів СІТ'2019. – 29 листопада 2019 – Тернопіль: ТНЕУ, 2019. – С. 24.

64. Мельник А., Кравець М. Автоматизована система для оцінки вартості та обліку приєднання споживачів до електричних мереж // Комп'ютерні інформаційні технології: матеріали школи–семінару молодих вчених і студентів СІТ'2019. – 29 листопада 2019 – Тернопіль: ТНЕУ, 2019. – С. 23.

65. Мельник А., Лавор М., Романюк М., Тимчишин В. Математичне та програмне забезпечення пошуку клонів коду на основі семантичних методів // Комп'ютерні інформаційні технології: матеріали школи–семінару молодих вчених і студентів СІТ'2020. – 30 листопада 2020 – Тернопіль: ТНЕУ, 2020. – С. 44–45.

SUMMARY

Melnyk A. M. Knowledge-driven software systems for interval analysis and modeling of complex objects. - On the rights of the manuscript.

The thesis or the doctor of technical science degree, specialty 01.05.02 - mathematical modeling and numerical methods. - West Ukrainian National University of Ministry of Science and Education of Ukraine, Ternopil, 2022.

Research was carried out at the Department of Computer Science of West Ukrainian National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The specialized board D 58.082.02 in West Ukrainian National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil.

The dissertation solves the actual scientific and applied problem of reducing the computational complexity of structural and parametric identification of interval models of complex objects while simultaneously ensuring the guaranteed accuracy

of these models within the limits necessary for solving decision-making problems and researching the properties of these objects.

The first chapter outlines several tasks related to the construction of knowledge- and model-oriented systems. An analysis of methods and means of constructing models of the characteristics of complex objects under conditions of uncertainty was carried out. At the same time, a comparative analysis of the disadvantages and advantages of the methods of deductive and inductive approaches was carried out. There are cases in which the use of the inductive approach and interval data analysis methods are justified for the construction of models of the characteristics of complex objects. The problems of structural and parametric identification of interval discrete models of complex objects in the form of difference equations are considered. An analysis of these methods was carried out and the use of a knowledge-oriented approach to both the description of the subject area of the researched object and the area of construction of this class of mathematical models was justified in order to reduce the computational complexity of their implementation. Dissertation research tasks have been set.

The second chapter discusses the method of structural identification of interval discrete models of complex objects and its improvement based on the introduction of computational procedures at different phases of the behavioral model of a bee colony of the adaptive setting of the selection of structural elements in the way of calculating for each element the probability of its selection during the synthesis of the current model. The method implementation algorithm is described. Computational experiments were conducted to investigate the computational complexity. The test examples confirmed the improvement of the efficiency of the improved method.

In the third section, a new concept of identifying interval discrete models of complex objects is proposed, which involves a combination of interval data analysis methods, a knowledge-oriented approach to both the description of the subject area of the object under study and the area of construction of a given class of mathematical models using ontology.

Also, in this section, based on the newly created concept, the results of the development of a new hybrid method of structural and parametric identification of interval discrete models of complex objects are given. Research is presented on the creation and use of a repository of a number of interval discrete models in the field of ecology, which contains an ontological description of both the subject area of application of these models and the conditions of their development.

The fourth chapter offers metrics for evaluating the relevance of information on various web resources. On this basis, a model verification method was developed, which is based on a combination of the data filtering method and the application of metrics for assessing the relevance of information, which collectively ensures the completeness of the model and reduces the computational complexity of its identification. Their effectiveness is studied and the possibilities of their application to ensure the completeness of the model are shown.

In the fifth chapter, a new computer environment for mathematical modeling based on interval discrete models of complex objects is created, which is based on a knowledge-oriented approach to the description of the area of construction of a given class of mathematical models using an ontology, which ensures its adaptation and interpretation in software code for a given subject area and specific user requirements. Solution elements of this environment are presented, such as implemented open software architecture, class diagrams, and relational database models. The software implementation of the computer environment with user interface elements is also described.

The sixth section of the work is devoted to the application of the created and developed methods, a repository of interval models, and a software complex for modeling the characteristics of complex objects for solving applied problems, namely: for modeling atmospheric pollution by harmful emissions in motor vehicle exhaust gases; modeling of electrophysiological characteristics of surgical wound tissues in tasks of identifying the location of the recurrent laryngeal nerve during operations on the thyroid gland; modeling of the dynamics of user reactions to

messages in thematic groups of social networks. The effectiveness of using the developed methods for solving a number of applied problems was studied.

The concept of identification of interval discrete models of complex objects is proposed and substantiated, which involves a combination of interval data analysis methods, a knowledge-oriented approach to both the description of the subject area of the object under study and the area of construction of a given class of mathematical models using an ontology, which collectively created the possibility of developing new, more computationally efficient methods of structural and parametric identification of interval discrete models of objects.

A new hybrid method of structural and parametric identification of interval discrete models of complex objects is proposed and substantiated, which, unlike the existing ones, is based on combined methods of interval analysis, behavioral models of bee colonies, and a knowledge-oriented approach to the description of the subject area of objects based on an ontology, which in the aggregate provided a reduction in the computational complexity of structural identification.

When developing a computer environment for interval modeling, a model verification method based on a combination of a data filtering method and a metric for evaluating the relevance of information is proposed and substantiated, which collectively ensures the completeness of the model and reduces the computational complexity of its identification.

An interval discrete model was developed in the form of a difference equation that describes the dynamics of user reactions to messages in thematic groups of social networks, which, unlike the existing ones, takes into account the reactions of users to informational messages, which made it possible to build a stable portrait of them and an optimal schedule of publications of a specialized group for maximizing the number of responses to messages.

The method of structural identification of interval discrete models of complex objects has been improved, which, unlike the existing ones, contains computational procedures for adaptive adjustment of the selection of structural elements in a way of establishing for each element of a set of structural elements the probability of

selecting any element and based on the change of this distribution at different phases behavioral model of a bee colony, which collectively reduces the computational complexity of implementing the method.

Computer environments for interval modeling and analysis have gained further development, in which, unlike the existing ones, an open software architecture is implemented, which collectively ensures a reduction in the time complexity of the procedures for both the development and application of interval mathematical models.

The repository of interval discrete models of air pollution by motor vehicles and interval models of the visualization of the recurrent laryngeal nerve during thyroid surgery underwent further development, which, unlike the existing ones, contains an ontological description of both the subject area of their application and the conditions for the development of these models, which overall simplifies procedures for developing the specified class of mathematical models for users.

A software complex was developed for modeling based on interval analysis and an ontological approach, in particular, an object-oriented approach to programming was used, using the Spring Framework technology in the Java programming language, as well as the Python interpreter. Jython was chosen as the Python interpreter, which is completely written in Java and well suited for implementing specialized applets.

A number of studies were carried out, which allowed to confirm the effectiveness of the methods and tools proposed in the work.

Keywords: mathematical modeling, knowledge-oriented systems, knowledge management, ontology, model repository, structural identification, bee colony behavioral model, interval system of nonlinear algebraic equations, decision support system, software, tools.

LIST OF PUBLICATIONS BY THE SUBJECT OF DISSERTATION

Publications showing the main scientific results of the dissertation

Publications in periodicals indexed in scientometric databases Scopus and Web of Science

1. Dyvak M., Pukas A., Melnyk A., Klos-Witkowska A., Karpinski M. Mathematical model in task of recurrent laryngeal nerve identification by electrophysiological method. *Przegląd Elektrotechniczny* (Electrical Review), 2017. – Issue 12. – P. 266–270. ISSN: 0033-2097. *(It is indexed in the international scientometric database Scopus and belongs to Q3 according to SCImago Journal & Country Rank).*
2. Dyvak M., Porplytsya N., Maslyiak Y., Pukas A., Melnyk A. Method of identification of models of objects with distributed parameters with a spatially distributed control based on interval data analysis. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2017. – Issue 2. – P. 150–159. ISSN: 2313-688X. *(It is indexed in the international scientometric database Web of Science and refers to Q4 according to Journal Citation Reports).*
3. Dyvak M., Kovbasisty A., Melnyk A., Turchyn L., Martsenyuk Y. System for web resources content structuring and recognizing with the machine learning elements. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2018. – Issue 3. – P. 128–134. ISSN: 2313-688X. *(It is indexed in the international scientometric database Web of Science and refers to Q4 according to Journal Citation Reports).*
4. Susla M., Pasichnyk R., Pasichnyk N., Melnyk A. Adjustment of the model of the agent-determinant type in the forecasting of pollution on the section of the city road. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2300. P. 38-41. ISSN: 1613-0073. *(Indexed in the international scientometric database Scopus).*
5. Tymchyshyn V., Porplytsya N., Melnyk A., Tymchyshyn B. Software for modelling the air pollution by vehicles. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2300. P. 207-210. ISSN: 1613-0073. *(Indexed in the international scientometric database Scopus).*
6. Dyvak M., Papa O., Melnyk A., Pukas A., Porplytsya N., Rot A. Interval model of the efficiency of the functioning of information web resources for services on

ecological expertise. *Mathematics*, 2020. - Vol. 8 (12). – P. 1–12. ISSN: 2227-7390 (*It is indexed in the international scientometric database Scopus and belongs to Q2 according to SCImago Journal & Country Rank*).

7. Dyvak M., Melnyk A., Kopnický M., Dostalek L., Krytskyi I., Dyvak A. Using an ontological approach for improvement of the interval model in the problem of the recurrent laryngeal nerve identification during thyroid surgery. *CEUR-WS*. 2021. Vol. 3038. P. 317-322. ISSN: 1613-0073. (*Indexed in the international scientometric database Scopus*).

8. Androshchuk O., Berezenskyi R., Lemeshko O., Melnyk, A., Huhul, O. Model of Explicit Knowledge Management in Organizational and Technical Systems. *International Journal of Computing*, 2021. – Vol. 20, Issue 2, P. 228–236. ISSN: 2312-5381. (*It is indexed in the international scientometric database Scopus and belongs to Q3 according to SCImago Journal & Country Rank*).

9. Dyvak M., Melnyk A., Rot A., Hernes M., Pukas A. Ontology of Mathematical Modeling Based on Interval Data. *Complexity*, 2022. - Vol. 2022, Article Id: 8062969. – P. 1–19. ISSN: 1099-0526, <https://doi.org/10.1155/2022/8062969> (*It is indexed in the international scientometric database Scopus and belongs to Q1 according to SCImago Journal & Country Rank*).

10. Dyvak M., Melnyk A., Mazepa S., Stetsko M. An Ontological Approach to Detecting Irrelevant and Unreliable Information on Web-Resources and Social Networks. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2022. – Vol. 831, P. 481–492. ISSN: 1876-1119. (*It is indexed in the international scientometric database Scopus and belongs to Q4 according to SCImago Journal & Country Rank*).

Papers in scientific publications of Ukraine

11. Melnyk A.M. The role of the automated learning process management model in increasing website traffic. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University*. Technical sciences, 2016. - No. 3. – P.15–19. – (in Ukrainian).

12. Shevchuk R.P., Melnyk A.M. Mobile cyberphysical system for dynamic display of information about objects on a digital terrain map. *Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, 2017. – Vol. 27. – No. 4. – C. 170–176. – (in Ukrainian).

13. Melnyk A. M. Methods and means of detecting outdated and unreliable information on web resources. *Informatics and mathematical methods in modeling*, 2020. - Vol. 10. – No.3-4. – C. 167–176. – (in Ukrainian).
14. Dyvak M. P., Melnyk A. M., Kovbasisty A. V., Papa O. A. Approach to mathematical modeling of the effectiveness of web resources. *Optical-electronic information-energy technologies*, 2020. - Vol. 38. – No.2. - pp. 29–37. – (in Ukrainian).
15. Dyvak M. P., Melnyk A. M., Papa O. A. Mathematical and software support of the intelligent module of applied software systems for the provision of administrative services in relation to environmental assessment. *Information technologies and computer engineering*, 2020. – Vol. . 49. – No. 3. - pp. 66–76. – (in Ukrainian).
16. Dyvak M.P., Melnyk A.M., Kedrin E.S., Frank O. Interval model of the portrait of users of the thematic group on ecological problems in the social network. *Optical-electronic information-energy technologies*, 2021. - Vol. 41. – No. 1. - pp. 78–88. – (in Ukrainian).
17. Dyvak M. P., Manzhula V. I., Melnyk A. M., Tymchyshyn V. S.. Air pollution monitoring system based on an autonomous air-mobile measuring complex. *Optical-electronic information-energy technologies*, 2021. – Volume. 42. – No. 2. - pp. 73–84. – (in Ukrainian).
18. Melnyk A.M., Dyvak M.P., Pasichnyk R.M. The method of detecting irrelevant information in service-oriented corporate systems on the example of soil quality assessment systems. *Information technologies and computer engineering*, 2021. - Vol. 50. – No. 1. – P. 45–54. – (in Ukrainian).
19. Dyvak M., Melnyk A., Pukas A., Dostalek L., Control of mathematical modeling process of dynamics of harmful substances concentrations on the basis of ontological approach. *Computational Problems of Electrical Engineering*, 2022. – Vol. 12, Issue 1, P. 7–16. – (in Ukrainian).
20. Melnyk A.M. Ontology as a software add-on to a system for mathematical modeling based on interval data. *Information technologies and computer engineering*, 2022. - Vol. 54. – No. 2. – pp. 26–38. – (in Ukrainian).

21. Dyvak M. P., Manzhula V. I., Melnyk A. M., Pukas A. V. The method of structural identification of nonlinear interval models of static objects. *Information technologies and computer engineering*, 2022. - Vol. 54. – No. 2. - pp. 103–114. – (in Ukrainian).

22. Melnyk A.M. Architecture of software for mathematical modeling based on the interval and ontological approach. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 2022. - No. 3. - pp. 265–273. – (in Ukrainian).

23. Melnyk A.M., Dyvak M.P., Manzhula V.I. Modeling of the dynamics of concentrations of harmful emissions from motor vehicles based on a combination of interval analysis methods and an ontological approach. *Measuring and computing technology in technological processes*, 2022. – No. 2. – P.14–23. – (in Ukrainian).

24. Melnyk A.M., Dyvak M.P. The method of structural identification of interval discrete models of complex objects with adaptive adjustment of the selection of structural elements. *Measuring and computing equipment in technological processes*, 2022. – No. 3. – P.61–72. – (in Ukrainian).

Monographs

25. Dyvak M.P., Pukas A.V., Porplitsia N.P., Melnyk A.M. Applied problems of structural and parametric identification of interval models of complex objects: monograph. – Ternopil: “University Dumka”, 2021. – 212 p. – (in Ukrainian).

Papers in materials of international conferences, which are indexed in scientometric databases Scopus or Web of Science

26. Pasichnyk N., Melnyk A., Dobrovolska N. Management the website attendance based on the projected traffic // *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XII International Conference CADSM’2013*. – Polyana – Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”. – 2013. – P. 277.

27. Roman P., Natalia P., Andrij M., Iryna S. Concept model of resources accumulation and operational management in biotechnology, biomedical and Web information systems // *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XIII International Conference*

CADSM'2015. – Polyana–Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”, 2015. – P. 152–155.

28. Lendyuk T., Melnyk A., Rippa S., Golyash I., Shandruk, S. Individual learning path building on knowledge-based approach // Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2015, Warsaw, Poland, September 24–26, 2015. – P. 949–954.

29. Melnyk A., Shpintal M., Spilchuk V., Susla M. Method for evaluating the efficiency of systems for distance education // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the XIIIth International Conference TCSET'2016. – Lviv – Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2016. – P. 855–857.

30. Kasianchuk M., Yakymenko I., Pazdriy I., Melnyk A., Ivasiev S. Rabin's modified method of encryption using various forms of system of residual classes // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XIV International Conference CADSM'2017. – Polyana – Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”, 2017. – P. 222–224.

31. Kovbasistyi A., Melnyk A., Dyvak M., Brych V., Spivak I. Method for detection of non-relevant and wrong information based on content analysis of web resources // Perspective Technologies and Methods in MEMS Design: Proceedings of the XIII-th International Conference ‘MEMSTECH’2017’. – Lviv – Polyana: Lviv Polytechnic National University, 2017. P. 154–156.

32. Dyvak M., Pukas A., Oliynyk I., Melnyk A. Selection the “saturated” block from interval system of linear algebraic equations for recurrent laryngeal nerve identification // Proceedings of the 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv – Novoiavorivsk, Ukraine, August 21–25, 2018. – P. 444–448.

33. Yakymenko I., Kasianchuk M., Ivasiev S., Melnyk A., Nykolaichuk Y. Realization of Rsa cryptographic algorithm based on vector-module method of modular exponentiation // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the XIVth International

Conference TCSET'2018. – Lviv – Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2018. P. 550–554.

34. Pasichnyk R., Susla M., Pasichnyk N., Melnyk A. Model of pollution on the local section of an urban highway and its identification method // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science: Proceedings of the XIVth International Conference 'TCSET'2018'. Lviv–Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2018. P. 864–867.

35. Susla M., Pasichnyk R., Pasichnyk N., Melnyk A., Shcherbiak I., Akimjak A. Principles of Building a Mathematical Model for the Influence of Mineral Fertilizers on Grain Yield // 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies 'ACIT'2019', Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019. P. 145–148.

36. Dyvak M., Kovbasistyi A., Melnyk A., Shcherbiak I., Huhul O. Recognition of Relevance of Web Resource Content Based on Analysis of Semantic Components // 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies 'ACIT'2019', Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019. P. 297–302.

37. Shevchuk R., Melnyk A., Opalko O., Shevchuk H. Software for Automatic Estimating Security Settings of Social Media Accounts // 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2020. – P. 769–773.

38. Dyvak M., Melnyk A., Kovbasistyi A., Shevchuk R., Huhul O., Tymchyshyn V. Mathematical Modeling of the Estimation Process of Functioning Efficiency Level of Information Web-Resources // 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2020. – P. 492–496.

39. Susla M., Pasichnyk R., Melnyk A., Pasichnyk N., Vasylykiv O., Androshchuk O. Formalization of Scientific Researches Results in Corporate Knowledge Bases As a Tool of Their Accumulation // 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2020. – P. 488–491.

40. Dyvak M., Melnyk A., Dyvak N., Papa O., Ostroverkhov V., Lobodina Z. Intelligent Module of Information Processing for the Applied Software System to Provide Administrative Services // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies 'ACIT'2021', Deggendorf, Germany, 2021. – P. 604–607.
41. Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Yushko A., Romanyuk M., Honchar L. Transactional Business Application Based on Microservice Architecture // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies 'ACIT'2021', Deggendorf, Germany, 2021. – P. 564–567.
42. Dyvak M., Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Valchyshyn S., Romanets I. Software Architecture for Modeling the Interval Static and Dynamic Objects // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies 'ACIT'2021', Deggendorf, Germany, 2021. – P. 572–575.
43. Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Smal V., Fenovka V., Pylypiuk T. Implementation of Service-Oriented Architecture for Static and Dynamic Objects Interval Modeling Software // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies 'ACIT'2021', Deggendorf, Germany, 2021. – P. 568–571.
44. Mazepa S., Banakh S., Melnyk A., Pugach S., Yavorska O., Golota N. An Ontological Approach to Detecting Fake News in Online Media // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies 'ACIT'2021', Deggendorf, Germany, 2021. – P. 531–535.
45. Melnyk A., Huhul O., Shevchuk R., Shcherbiak I., Martsenyuk Y., Kovbasistyi A. Intelligent System of Analyzing the Structure of Web-resources // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies 'ACIT'2021', Deggendorf, Germany, 2021. – P. 560–563.
46. Shevchuk R., Kohut I., Chopyk P., Madiudia I., Melnyk A. Cyber-Physical Integrated Transport and Warehouse Logistics System for Courier Delivery Service // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies 'ACIT'2021', Deggendorf, Germany, 2021. – P. 652–656.

47. Dyvak M., Melnyk A., Kedrin Y. Interval model of the user reactions to messages in thematic groups of social networks // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the XIVth International Conference TCSET'2022. – Lviv – Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2022. P. 837–840.

48. Pasichnyk R., Melnyk A., Bilous I., Duma L., Pushkar B., Monko R. Historical Training Game Model with Mathematical and Information Aspects // 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 2022. – P. 84–88.

49. Dyvak M., Melnyk A., Dostalek L., Ostroverkhov V., Honchar L., Romanets I. Repository of Interval Models of Dynamics of Concentrations of Harmful Emissions of Motor Transport // 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 2022. – P. 89–94.

50. Dyvak M., Melnyk A., Martsenyuk Y., Rohatynska N., Brukhanskyi R., Pytel S. Evolutionary Method Based on Artificial Bee Colony and Ontological Approach for Structural Identification of Interval Discrete Models of Objects with Distributed Parameters // 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 2022. – P. 95–100.

51. Melnyk A., Shevchuk R., Huhul O., Shcherbiak I., Shevchuk A., Franko Y. Software Architecture for Mathematical Modelling Based on Interval and Ontology Approach // 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 2022. – P. 101–105.

52. Shevchuk R., Tykhiy R., Melnyk A., Karpinski M., Owedyk Y., Yurchyshyn T. Cyber-physical System for Dynamic Annotating Real-world Objects Using Augmented Reality // 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Spisska Kapitula, Slovakia, 2022. – P. 392–395.

Papers in conference proceedings

53. Melnyk A., Garakh O. The method of database synchronization using hash functions based on non-linear partitioning of tables // Modern computer information technologies: Materials of the II All-Ukrainian school - seminar of young scientists and students ACIT'2012. – Ternopil: TNEU, 2012. – P. 183.

54. Melnyk A., Sitkar T. Formation of professional knowledge with the help of an intellectual educational system // Information society: state and prospects of development in the light of regional features: materials between science and practice Conferences. – October 11-14, 2012 – Krakow-Rzeszów-Lviv-Ternopil. – Ternopil: TICIT, 2012. – P. 30-31. – (in Ukrainian).

55. Melnyk A., Myts O. Increasing the efficiency of searching for documents on the Internet taking into account the similarity of web pages // Modern computer information technologies: Materials of the III All-Ukrainian school - seminar of young scientists and students ACIT'2013. – Ternopil: TNEU, 2013. – P. 212. – (in Ukrainian).

56. Melnyk A., Panchenko O. The ontology model of the subject area // Modern computer information technologies: Materials of the III All-Ukrainian school - workshop of young scientists and students ACIT'2013. – Ternopil: TNEU, 2013. – P. 213. – (in Ukrainian).

57. Melnyk A., Labyk D. The method of "transparent journaling" for organizing the process of testing web-oriented information systems // Modern computer information technologies: Materials of the V All-Ukrainian school - seminar of young scientists and students ACIT'2015. – Ternopil: TNEU, 2015. – P. 139–141. – (in Ukrainian).

58. Melnyk A., Posulyak R., Butsa V. Information technology of risk-oriented evaluation of the functionality of web-oriented systems // Modern computer information technologies: Materials of the V All-Ukrainian school - seminar of young scientists and students ACIT'2015. – Ternopil: TNEU, 2015. – P. 142–144. – (in Ukrainian).

59. Melnyk A., Spivak I., Syrnyk O., Drobot I. Building an adaptive user model in the interfaces of Web-oriented systems // Modern computer information

technologies: Materials VI of the All-Ukrainian School - seminar of young scientists and students of ACIT'2016. – Ternopil: TNEU, 2016. – P. 137–139. – (in Ukrainian).

60. Melnyk A., Prots S. Modeling algorithm for assessing the reliability of complex multifunctional technical systems // Modern computer information technologies: Materials VI of the All-Ukrainian school - seminar of young scientists and students ACIT'2016. – Ternopil: TNEU, 2016. – P. 28–30. – (in Ukrainian).

61. Melnyk A., Peak I. Application of genetic algorithm for project risk assessment // Modern computer information technologies: Materials of the VI All-Ukrainian school - seminar of young scientists and students ACIT'2016. – Ternopil: TNEU, 2016. – P. 135–137. – (in Ukrainian).

62. Zhidyk M., Melnyk A., Shpak V., Kovbasisty A. Computer network for the "smart house" model // Modern computer information technologies: Proceedings of the All-Ukrainian conference with international participation ACIT'2017. – Ternopil: TNEU. – 2017. – P. 34. – (in Ukrainian).

63. Melnyk A., Tymchyshyn V., Kovbasisty A., Romanyuk M. Mathematical and software management of replications in NoSQL type databases // Computer information technologies: materials of the school-seminar of young scientists and students CIT'2019. – November 29, 2019 – Ternopil: TNEU, 2019. – P. 24. – (in Ukrainian).

64. Melnyk A., Kravets M. Automated system for estimating the cost and accounting of the connection of consumers to electric networks // Computer information technologies: materials of the school-seminar of young scientists and students CIT'2019. – November 29, 2019 – Ternopil: TNEU, 2019. – P. 23.– (in Ukrainian).

65. Melnyk A., Lavor M., Romanyuk M., Tymchyshyn V. Mathematical and software for code clone search based on semantic methods // Computer information technologies: materials of the school-seminar of young scientists and students CIT'2020. – November 30, 2020 – Ternopil: TNEU, 2020. – P. 44–45. – (in Ukrainian).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	35
ВСТУП	36
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПОБУДОВИ ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ІНТЕРВАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	47
1.1. Особливості побудови систем, орієнтованих на знання та моделі...	49
1.2. Аналіз методів та засобів побудови моделей характеристик складних об'єктів в умовах невизначеності.....	58
1.3. Методи математичного моделювання на основі інтервального аналізу та їх використання в задачах структурної та параметричної ідентифікації моделей складних об'єктів	63
1.3.1. Постановка задачі математичного моделювання на основі інтервальних даних	63
1.3.2. Методи структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів	72
1.4. Знання-орієнтований підхід та його використання при побудові інтервальних математичних моделей.....	81
1.4.1. Знання-орієнтований підхід до розробки систем прийняття рішень	81
1.4.2. Технології подання знань та їх використання при побудові математичних моделей	83
1.4.3. Онтології як засіб формалізації знань про предметну область та процес побудови математичних моделей	86
1.5. Постановка проблеми дослідження	90
Висновки до розділу 1	95

РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД СТРУКТУРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДИСКРЕТНИХ МОДЕЛЕЙ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ АДАПТИВНИМ НАЛАШТУВАННЯМ ВИБОРУ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	97
2.1. Теоретико–логічні підстави методу структурної ідентифікації.....	98
2.2. Метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів	110
2.3. Алгоритм реалізації методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів	117
2.4. Експериментальні дослідження обчислювальної складності реалізації методу	124
Висновки до розділу 2	141
РОЗДІЛ 3. ОНТОЛОГІЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДАНИХ.....	143
3.1. Опис теоретичного підґрунтя побудови онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних	144
3.2. Формалізоване представлення онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних	152
3.3. Гібридний метод ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів	156
3.4. Дослідження особливостей вибору математичної моделі з репозиторію інтервальних моделей	159
3.5. Дослідження особливостей виділення нелінійного елемента математичної моделі з репозиторію інтервальних моделей.....	170
Висновки до розділу 3	179

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНКИ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОЦЕСІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВНОТИ СТРУКТУРИ МОДЕЛІ ТА ОПИСУ ОБ'ЄКТА МОДЕЛЮВАННЯ.....	182
4.1. Метод перевірки інформації з веб-ресурсів на основі аналізу даних, отриманих із соціальних мереж.....	183
4.2. Метод виявлення неактуальної інформації в сервісно-орієнтованих корпоративних системах	194
4.2.1. Метрика оцінки актуальності інформації в сервісно-орієнтованих системах.	198
4.2.2. Метод фільтрування даних на основі метрики оцінки актуальності інформації	200
4.2.3. Дослідження особливостей реалізації методу фільтрування даних на основі метрики оцінки актуальності інформації.....	202
Висновки до розділу 4	204
РОЗДІЛ 5. ОНТОЛОГІЧНО-КЕРОВАНА ПРОГРАМНА СИСТЕМА ІНТЕРВАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	206
5.1. Архітектура онтологічно-керованої системи інтервального моделювання складних об'єктів	207
5.2. Проектування та реалізація підсистеми зберігання інформації.....	219
5.3. Програмна реалізація системи для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу	235
5.4. Онтологія як програмна надбудова до системи для математичного моделювання на основі інтервальних даних	243
5.4.1. Підхід до використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів	247

5.4.2. Дослідження процесу імплементації онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу в прикладній предметній області	251
Висновки до розділу 5	256
РОЗДІЛ 6. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ	258
6.1. Інтервальна модель для візуалізації зворотного гортанного нерва при проведенні операції на щитовидній залозі	259
6.2 Інтервальна модель динаміки концентрації шкідливих речовин на основі онтологічного підходу	266
6.3. Інтервальна модель портрету користувачів тематичної групи з проблем екології у соціальній мережі.....	275
Висновки до розділу 6	286
ВИСНОВКИ.....	288
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	291
ДОДАТОК А ОСНОВНІ ОПЕРАЦІЇ КЛАСИЧНОЇ АЛГЕБРИ КОРТЕЖІВ.....	321
ДОДАТОК Б DDL БАЗИ ДАНИХ ОНТОЛОГІЧНО-КЕРОВАНОЇ СИСТЕМИ ІНТЕРВАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	322
ДОДАТОК В СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.....	333
ДОДАТОК Г ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....	343
ДОДАТОК Д АКТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ	344

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ABC	Artificial Bee Colony algorithm (алгоритм штучної бджолоїної колонії)
API	Application Programming Interface
DSS	Decision Support System
SOAP	Simple Object Access Protocol (простий протокол доступу до об'єктів)
REST	Representational State Transfer (передача репрезентативного стану)
АБК	алгоритм бджолоїної колонії
БД	база даних
ДДМ	дискретна динамічна модель
ЗГН	зворотній гортанний нерв
ІСЛАР	інтервальна система лінійних алгебричних рівнянь
ІРР	інтервальне різницеve рівняння
ІДДМ	інтервальна дискретна динамічна модель
ІДМ	інтервальна дискретна модель
ІСНАР	інтервальна система нелінійних алгебричних рівнянь
ПМБК	поведінкова модель бджолоїної колонії
МГУА	метод групового урахування аргументів
ПК	персональний комп'ютер
ПЗ	програмне забезпечення
РМД	реляційна модель даних
СПР	система підтримки рішень
СУБД	система управління базами даних

ВСТУП

Актуальність теми.

Розвиток інформаційних технологій передбачає використання інтелектуалізованих систем підтримки рішень, керованих моделями, даними та знаннями, в умовах невизначеності. Розвиток таких систем може забезпечуватися використанням математичного моделювання як процесу побудови математичних моделей із застосуванням методів їх ідентифікації, так і оперування побудованими математичними моделями. Це дає можливість створити низку математичних макромоделей складних об'єктів, які використовуються в процесах підготовки та прийняття рішень.

До побудови таких моделей існує два підходи – дедуктивний та індуктивний. При дедуктивному підході необхідно встановити загальний вигляд моделі, а потім перевірити її адекватність на експериментальних даних, що ускладнює застосування цього підходу при побудові макромоделей систем підтримки прийняття рішень, керованих моделями, даними та знаннями.

Індуктивний підхід, навпаки, ґрунтується на експериментальному дослідженні властивостей складного об'єкту із подальшою ідентифікацією математичної моделі. Побудовані в межах такого підходу моделі є простими і часто використовуються в інтелектуалізованих системах підтримки прийняття рішень та в експертних системах, керованих знаннями. Проте, для побудови таких моделей необхідно розв'язувати задачі структурної ідентифікації математичних моделей складних об'єктів. Особливо ці задачі ідентифікації ускладнюються, коли експериментальні дані отримані в інтервальному вигляді, а отримані моделі мають гарантовані прогностичні властивості.

Зокрема, найбільш значущі результати при розробці методів ідентифікації моделей складних об'єктів отримали українські та зарубіжні вчені Бакан Г.М., Грановський В.А., Дивак М.П., Кветний Р.Н., Кунцевич В.М., Личак М.М., Гребеннік І.В., Пшеничний Б.М., Шокін Ю.І., Згуровський М.З., Milanese M., Norton J.P., Vicino E., Schwepper F.S., та ін., а

при проведенні досліджень моделей у вигляді різницевих операторів варто відзначити наукові школи вчених: Ципкіна Я.З., Дивака М.П., Івахненка О.Г., Степашка В.С., Akaike H., Rissanen J., Pollard D. та ін. Розробці систем підтримки прийняття рішень у сфері математичного моделювання з використанням онтологічного підходу присвячені праці таких зарубіжних та українських вчених: Gruber T., King M., Staab S., Noy N., McGuinness D., Палагіна О.В., Пасічника В.В., Шаховської Н.Б., Литвина В.М., Пасічника Р.М., Досина Д.Г., Степашка В.С., Лупенка С.А.

Спираючись на припущення, що точність математичної моделі повинна бути співмірна із точністю результатів експерименту, які представлено у вигляді числових інтервалів, що гарантовано включають спостережувані значення характеристик об'єкта, отримані для фіксованих умов його проведення, доцільно для побудови таких моделей використати методи аналізу інтервальних даних, а самі моделі матимуть вигляд інтервальних різницевих рівнянь. Разом з тим, представлення цих моделей у вигляді інтервальних різницевих рівнянь хоча і має переваги для комп'ютерного моделювання, проте вимагає застосування достатньо складних, у порівнянні із використанням стохастичних підходів, методів структурної та параметричної ідентифікації. Також розроблені математичні та комп'ютерні моделі відзначаються високою обчислювальною складністю, яка необхідна для забезпечення адекватності та достатньої точності для прийняття рішень.

Проблема складності також пов'язана із необхідністю розширення сфери застосування макромоделей у певній предметній області при збереженні її прогностичних властивостей. З іншого боку, спираючись на гіпотезу про те, що онтологічний опис предметної області моделювання дає можливість формалізувати та розширити умови використання інтервальної моделі, необхідно розробити гібридні методи налаштування структури моделі та параметрів з метою підвищення її прогностичних властивостей.

Саме це протиріччя становить суть наукової проблеми зниження обчислювальної складності структурної та параметричної ідентифікації

інтервальних моделей складних об'єктів з одночасним забезпеченням гарантованої точності цих моделей в межах, необхідних для розв'язування задач прийняття рішень та дослідження властивостей цих об'єктів.

У процесі вирішення цієї проблеми розглядаються комп'ютерні (дискретні) моделі складних об'єктів у різних прикладних сферах. Розроблення методів та засобів побудови дискретних моделей складних об'єктів у вигляді інтервальних різницевих рівнянь на основі поєднання онтологічного підходу та аналізу інтервальних даних для розширення сфери та умов застосування моделей у поєднанні із зниженням обчислювальної складності їх побудови є актуальними задачами, розв'язування яких розвине теорії ідентифікації та математичного моделювання, а також слугуватиме поштовхом для розвитку прикладних досліджень у сферах охорони довкілля, медицини та інших областях.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася в межах пріоритетного напрямку «Інформаційні та комунікаційні технології» відповідно до закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки»: та пов'язана з науковими дослідженнями, які виконувалися за держбюджетною тематикою кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету:

– НДР "Математичне та комп'ютерне моделювання об'єктів з розподіленими параметрами на основі поєднання онтологічного та інтервального аналізу" (2022-2024 рр., № держреєстрації 0122U001497). Автором розроблено онтологію математичного моделювання на основі інтервальних даних.

– НДР "Розвиток систем підтримки рішень, керованих моделями та даними в умовах невизначеності." (2022р., № держреєстрації 0121U114705, відповідальний виконавець). Автором розроблено метод вибору математичної моделі в рамках онтологічного підходу для моделювання на основі інтервальних даних.

– НДР "Математичне та програмне забезпечення для класифікації тканин хірургічної рани в процесі операції на органах шії" (2017-2018 рр., № держреєстрації 0117U000410). Автором удосконалено метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей ідентифікації зворотного гортанного нерва в процесі хірургічної операції на органах шії.

А також за госпдоговірною тематикою:

– НДР «Реінженерія веб-порталу підприємства та імплементація мобільного додатку до нього» (травень 2020 - вересень 2020 рр., № держреєстрації 0120U102833, замовник – ТзОВ «Терногаз», відповідальний виконавець). Автором апробовано метод фільтрування даних на основі метрики оцінки актуальності інформації в сервісно-орієнтованих системах.

– НДР «Онлайн система «Терногаз» (липень 2019 - серпень 2019 рр., № держреєстрації 0119U102841, замовник – ТзОВ «Терногаз», відповідальний виконавець). Автором апробовано метрику оцінки актуальності інформації.

– НДР „Модернізація програмної системи підтримки діяльності Центру надання адміністративних послуг Тернопільської міської ради” (жовтень 2017-грудень 2017 рр., № держреєстрації 0117U003870, замовник – Тернопільська міська рада, відповідальний виконавець); НДР „Розширення функціоналу програмної системи підтримки діяльності Центру надання адміністративних послуг Тернопільської міської ради” (вересень 2016-грудень 2016 рр., № держреєстрації 0116U008541, замовник – Тернопільська міська рада, відповідальний виконавець). У цих НДР автором розроблено метод структурної ідентифікації дискретних моделей динаміки реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж та апробовано його для інтелектуалізації системи надання адміністративних послуг.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є зниження обчислювальної складності процесів моделювання характеристик складних об’єктів в умовах інтервальної невизначеності у спосіб розробки та поєднання методів аналізу інтервальних даних і знання-орієнтованого підходу

як до опису предметної області досліджуваного об'єкта, так і до області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- провести аналіз відомих методів ідентифікації моделей характеристик об'єктів в умовах невизначеності та підходів до реалізації онтологічного опису їх застосування у задачах структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей;
- розробити концепцію та метод ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів на основі поєднання методів аналізу інтервальних даних та знання-орієнтованого підходу із використанням онтології;
- розробити метод верифікації інтервальних моделей на основі метрики оцінки актуальності інформації і методу фільтрування даних та побудувати інтервальну дискретну модель динаміки реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж;
- удосконалити метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів з метою зниження його складності;
- розробити програмний комплекс для інтервального моделювання з відкритою програмною архітектурою та репозиторій інтервальних моделей характеристик складних об'єктів;
- провести апробацію нових й удосконалених методів та розробленого програмного комплексу для розв'язування прикладних задач побудови моделей характеристик складних об'єктів в умовах інтервальної невизначеності.

Об'єкт дослідження – процеси індуктивного моделювання складних об'єктів на основі аналізу інтервальних даних.

Предмет дослідження – знання-орієнтовані на основі онтологічного підходу програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об'єктів.

Методи дослідження. Для розв'язання задач моделювання складних об'єктів на основі поєднання інтервального та онтологічного підходів

використано методи теорії систем, математичного моделювання, теорії ідентифікації, інтервальної математики, математичної статистики та оптимізації, теорії ймовірності; для побудови онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних використано системний аналіз, методи реляційної алгебри; для розв'язання задач реалізації комп'ютерного середовища та генерування інструментальних засобів для моделювання – системний підхід та об'єктно-орієнтований аналіз, проектування та програмування, функціональне та комплексне тестування систем.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

вперше

- запропонована нова концепція ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яка передбачає поєднання методів аналізу інтервальних даних та знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваного об'єкта, так і до області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології, що у сукупності створило можливість розробки нових, більш ефективних з обчислювальної точки зору методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів;

- запропоновано та обґрунтовано новий гібридний метод структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на поєднанні методів інтервального аналізу, поведінкових моделей бджолоїної колонії та знання-орієнтованому підході опису предметної області об'єктів на основі онтології, що у сукупності забезпечило зниження обчислювальної складності структурної ідентифікації;

- при розробці комп'ютерного середовища для інтервального моделювання запропоновано та обґрунтовано метод верифікації моделей, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на поєднанні методу фільтрування даних та застосуванні метрики оцінки актуальності інформації, що у

сукупності забезпечує повноту моделі та знижує обчислювальну складність її ідентифікації;

- розроблено інтервальну дискретну модель у вигляді різницевого рівняння, що описує динаміку реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж, в якій, на відміну від існуючих, враховано реакції користувачів на інформаційні повідомлення, що дало змогу побудувати їх стійкий портрет та оптимальний розклад публікацій спеціалізованої групи для максимізації кількості реакцій на повідомлення;

- розроблено комп'ютерне середовище для математичного моделювання складних об'єктів на основі інтервальних дискретних моделей, яке, на відміну від існуючих, ґрунтується на знання-орієнтованому підході опису області побудови даного класу математичних моделей із застосуванням онтології, що забезпечує його адаптацію та інтерпретацію в програмний код під задану предметну область та під конкретні вимоги користувача;

удосконалено метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який на відміну від існуючих, містить обчислювальні процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів у спосіб встановлення для кожного елемента множини ймовірності його вибору і зміни цього розподілу на різних фазах поведінкової моделі бджолої колонії, що у сукупності знижує обчислювальну складність реалізації методу;

набули подальшого розвитку:

- комп'ютерні середовища для інтервального моделювання та аналізу, в яких, на відміну від існуючих, реалізована відкрита архітектура програмного забезпечення, що у сукупності забезпечує зниження часової складності процедур як розробки, так і застосування інтервальних математичних моделей;

- репозиторій інтервальних дискретних моделей забруднення атмосфери автотранспортом та інтервальних моделей візуалізації зворотного гортанного нерва під час операції на щитовидній залозі який, на відміну від існуючих,

вміщує онтологічний опис як предметної області їх застосування, так і умови розробки цих моделей, що у сукупності спрощує процедури побудови зазначеного класу математичних моделей для користувачів.

Практичне значення отриманих результатів.

Створено багатофункціональний програмний комплекс, в якому реалізовано методи побудови інтервальних моделей складних об'єктів, а саме методи їх структурної та параметричної ідентифікації, які реалізовані на основі поведінкових моделей бджолоїної колонії та знання-орієнтованому підході з використанням онтологічного опису. Програмний комплекс використано для побудови моделей в екології, медицині, веб-орієнтованих інформаційних системах та інженерії програмного забезпечення.

Результати роботи впроваджені: у Державній установі «Тернопільський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України» для підтримки прийняття рішень щодо забруднення атмосферного повітря у м. Тернопіль; у КНП «Тернопільська комунальна міська лікарня №2» при проведенні операцій на щитовидній залозі; у відділі «Центр надання адміністративних послуг» Тернопільської міської ради для побудови оптимального розкладу публікацій спеціалізованої групи для максимізації кількості реакцій на повідомлення на заданому інтервалі часу; в департаменті цифрової трансформації Тернопільської обласної державної адміністрації при впровадженні сервісно-орієнтованих корпоративних систем; у компанії «Eleks» (м. Тернопіль) для оцінювання інформаційних дописів користувачів соціальної спільноти на основі використання методу фільтрування даних, побудованого з використанням метрики оцінки актуальності інформації. На підставі проведених у дисертаційній роботі досліджень розроблено комплексне методичне забезпечення, що використовується в освітньому процесі на кафедрі комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету при викладанні дисциплін для студентів спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

У додатку Д до дисертації подано акти використання результатів дисертаційного дослідження.

Особистий внесок здобувача.

Наукові результати, які викладені у роботі, отримані автором особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, автору належать такі результати: [11, 232, 239, 244, 246] – формалізований опис компонентів моделі управління знаннями в організаційно-технічних системах; [37, 98] – алгоритми реалізації методу фільтрування даних та застосування метрик оцінки актуальності інформації; [38, 109, 116, 119, 144, 240, 245] – застосування знання-орієнтованого підходу до опису предметної області досліджуваного об'єкта із використанням онтології; [41, 59] – репозиторій інтервальних моделей складних об'єктів; [42, 45, 122, 195, 228, 229] – система показників для метрик оцінки актуальності інформації в сервісно-орієнтованих системах; [43, 227] – інтервальна дискретна модель динаміки реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж; [44, 47, 48] – застосування онтологій до опису області побудови математичних моделей; [46, 253] – гібридний метод структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів; [48, 165] – застосування алгоритму реалізації гібридного методу ідентифікації математичної моделі динаміки концентрацій діоксиду азоту; [49, 231] – нова концепція ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яка передбачає поєднання методів аналізу інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу із використанням онтології; [50, 143, 147, 182, 197] – постановки та аналіз задач побудови математичних моделей складних об'єктів; [55] – алгоритмічна та програмна реалізація методу ідентифікації моделей об'єктів з розподіленими параметрами та управлінням; [57] – реалізація методу ідентифікації інтервальної моделі в задачі виявлення зворотного гортанного нерва на хірургічній рані; [58, 121, 165, 183, 184, 266] – архітектура комп'ютерного середовища для математичного моделювання на основі інтервальних дискретних моделей складних об'єктів; [91, 166, 216, 236, 241, 247] – алгоритми інтеграції даних інформаційних систем з неоднорідними

онтологічними специфікаціями в комп'ютерних середовищах для інтервального моделювання та аналізу даних; [196, 205] – реалізація алгоритмів моделювання добового циклу зміни концентрації діоксиду азоту; [225] – адаптація методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів для ідентифікації нелінійних інтервальних моделей; [226] – модуль ідентифікації інтервальних дискретних моделей в системі екологічного моніторингу; [237, 238, 242, 243] – реалізації принципів відкритої архітектури програмного забезпечення для комп'ютерних середовищ для інтервального моделювання та аналізу даних; [252] – метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів; [254] – метод верифікації математичних моделей на основі поєднання методу фільтрування даних та застосування метрики оцінки актуальності інформації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на 22 міжнародних та всеукраїнських конференціях (Додаток Г), у тому числі на 15 міжнародних науково-технічних конференціях:

“The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics”, CADSM (Львів-Поляна, 2013, 2015, 2017); “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science”, TCSET (Львів-Славсько, 2016, 2018, 2022); IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (September 24–26, 2015, Warsaw, Poland); “Perspective Technologies and Methods in MEMS Design” MEMSTECH (Lviv-Polyana, 2017); “Data Stream Mining & Processing” DSMP (Lviv-Novoiavorivsk, 2018); “Advanced Computer Information Technologies” ACIT (Ceske Budejovice, Czech Republic, 2018, 2019; Deggendorf, Germany, 2020; Spišská Kapitula, Slovakia, 2022); Перша міжнародна мережева науково-практична конференція “Інформаційне суспільство: стан і перспективи розвитку в світлі регіональних особливостей”

(Краків-Жешів-Львів-Тернопіль, 2012); 7 Всеукраїнських науково-технічних конференціях: “Сучасні комп’ютерні інформаційні технології” АСІТ (Тернопіль, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017); “Комп’ютерні інформаційні технології” СІТ (Тернопіль, 2019, 2020), а також наукових семінарах кафедри комп’ютерних наук Західноукраїнського національного університету (2012-2022).

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 65 наукових праць (Додаток В), зокрема 24 статті [1, 3, 7, 10-15, 35, 37, 39-43, 46-51, 64, 65] у наукових періодичних фахових виданнях, у тому числі 17 статей у наукових фахових виданнях України [1, 3, 11, 14, 39-43, 46-51, 64, 65] та 7 статей у закордонних періодичних виданнях [7, 10, 12, 13, 15, 35, 37], 10 статей [1, 3, 7, 10, 12-15, 35, 37] включено в наукометричні бази Scopus та/або Web of Science (з них, відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports, дві статті віднесено до квартилю Q1-Q2 [12, 13], дві – до квартилю Q3 [1, 15], та три – до квартилю Q4 [3, 10, 14]), 1 монографія [44] та 40 публікацій у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій [2, 4, 5, 6, 8, 9, 16-34, 36, 38, 44, 45, 52-63] (з них 27 публікацій [2, 4, 5, 6, 8, 9, 16-34, 36, 38] включено в наукометричні бази Scopus та/або Web of Science). Загалом 37 публікацій включено до наукометричних баз Scopus та/або Web of Science.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 351 сторінка, із них 290 сторінок основного тексту, 91 рисунок, 28 таблиць, список використаних джерел із 266 найменувань, 5 додатків.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПОБУДОВИ ЗНАННЯ- ОРІЄНТОВАНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ІНТЕРВАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Останнім часом зростає рівень реалізації систем підтримки прийняття рішень (англ. Decision Support System, DSS), що є переконливим доказом того, що DSS є життєздатним і добре прийнятим інструментом управління.

СПР, які найбільше підходять для підтримки прийняття рішень в різних предметних областях, зокрема медицині та екології, а особливо враховуючи умови невизначеності процесів в даних предметних областях – СПР, що керуються даними (Data-Driven DSS), моделями (Model-Driven DSS) та знаннями (Knowledge-Driven DSS).

Невід'ємною компонентою зазначених типів СПР є математичні моделі, а виходячи із специфіки досліджуваних в роботі предметних областей, саме застосування математичного моделювання дозволяє отримувати необхідні управлінські рішення, виходячи із складності об'єкта.

Під складністю системи розуміємо наявність різноманітних взаємопов'язаних елементів, які важко досліджувати повністю, а складність об'єкта – це його властивість, яка може проявлятися у випадковості, нез'ясовності, непередбаченості його поведінки. Саме моделювання поведінки зазначеного типу об'єктів розглядається у дисертаційній роботі.

При розв'язанні зазначеного класу задач найчастіше використовуються методи, які ґрунтуються на дедуктивному та індуктивному підходах. В межах дедуктивного підходу, загальний вигляд диференціального рівняння визначають виходячи з певних фізичних міркувань, з подальшими процедурами дискретизації та розв'язання.

Індуктивний підхід базується на самоорганізованому процесі еволюційного переходу від експериментальних даних до побудови математичних моделей, які відображають закономірності функціонування

імітованих об'єктів і систем, які закладені в існуючих експериментальних даних. Важливою особливістю реалізації індуктивного підходу є характер невизначеності в інформаційних масивах даних (імовірнісна, інтервальна, нечітка), оскільки цей підхід базується на методах аналізу даних.

У межах індуктивного підходу математичні моделі представляють у вигляді різницевих операторів. Різницевий оператор - дискретний аналог диференціальних рівнянь в частинних похідних. Більшість з відомих методів характеризується високою обчислювальною складністю в процесі пошуку моделі.

Для досліджуваних складних об'єктів, переважно експериментальні дані формуються з вимірювальних пристроїв, що мають визначені похибки вимірювань. Для врахування невизначеності в експериментальних даних необхідно використовувати методи, які ґрунтуються на інтервальному аналізі даних.

Перевагою застосування інтервального підходу є відсутність вимоги дослідження статистичних характеристик об'єкта моделювання. Як відомо, це зменшує кількість експериментів (відбір та накопичення даних). Тому інтервальний підхід більш корисний для дослідження властивостей складного об'єкта в умовах обмеженої вибірки даних.

Основною проблемою використання цих методів є відсутність знання-орієнтованого підходу із реалізованим формалізованим описом як предметної області, так і самого процесу моделювання, що не дозволяє розробляти програмні середовища як інструментальні засоби.

Цю проблему можна вирішити за допомогою знання-орієнтованого підходу із використанням онтологічного опису предметної області моделювання, тобто операційної онтології.

З множини моделей подання знань детальніше розглядаються онтології, оскільки їх використання при розробці систем підтримки прийняття рішень в рамках знання-орієнтованого підходу активно розвивається на даний час.

Таким чином, рішення цих проблем дозволить зменшити складність процедури моделювання та отримати адекватні моделі з гарантованими прогностичними властивостями. Розглянемо детальніше особливості організації систем підтримки прийняття рішень, що керуються знаннями, даними та моделями.

Основні результати цього розділу опубліковано автором у працях [11, 41-50, 59, 91, 98, 109, 116, 121, 122, 165, 166, 182, 184, 216, 229, 232, 236, 244-257, 266].

1.1. Особливості побудови систем, орієнтованих на знання та моделі

Сучасні системи стають все більш динамічними та неоднорідними. Ці фактори ускладнюють процес моделювання і, як наслідок, роблять непрактичними методи традиційного стійкого та оптимального керування, які передбачають наявність точних моделей [108].

В сучасному світі прийняття рішень є більш складним, ніж це було в минулому. Це обумовлено двома причинами: по-перше, зростаючі технології та системи комунікацій сформували більшу множину можливих альтернатив рішень, з яких особа, яка приймає рішення, може здійснювати вибір; по-друге, підвищений рівень структурної складності сучасних проблем може призвести до ланцюгової реакції збільшення витрат у разі виникнення помилок [204].

Загалом управлінські рішення приймаються на основі людського судження, яке включає дедуктивні міркування, підкріплені досвідом, інформацією та знаннями [63]. Для компенсації ефекту людської помилки, процес прийняття рішень може бути частково доповнений автоматизованою комп'ютерною системою. Остаточна система не може бути повністю автоматизована, якщо вона не буде ідеально налаштована та в її основі не покладено верифіковану інформацію та оптимальна модель.

DSS використовується для моделювання людських міркувань і процесу прийняття рішень, здатні приймати факти від користувачів, опрацьовувати ці

факти і формувати пропозиції, які є близькими до рішень, які представлені експертами [219]. DSS може значно підтримати в оцінці різних рішень щодо технічного обслуговування, щоб вибрати найбільш надійне та економічно обґрунтоване [222].

Останнім часом зростає рівень реалізації систем підтримки прийняття рішень в організаціях, що є переконливим доказом того, що DSS є життєздатним і добре прийнятим інструментом управління. На рисунку 1.1 представлено загальну схему класифікації систем підтримки рішень. Розглянемо кожну із зазначених груп більш детально.

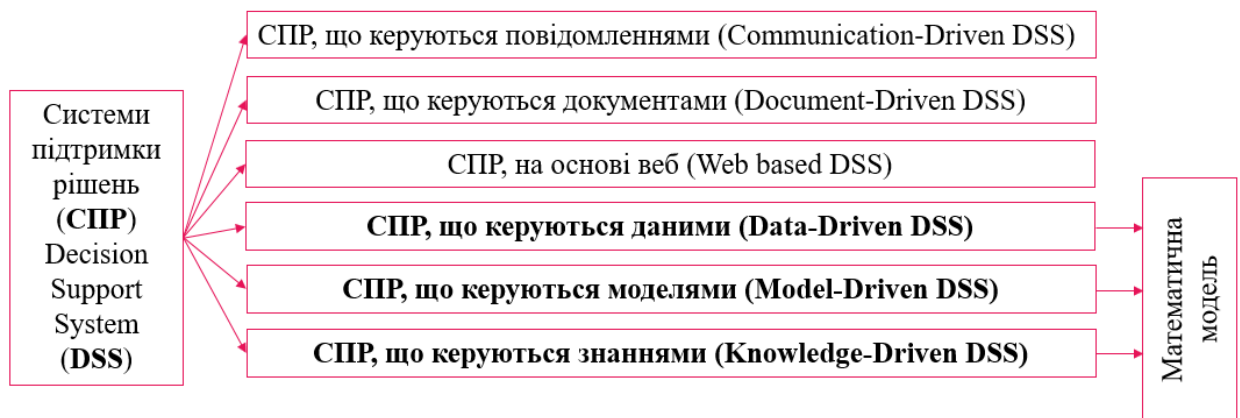


Рисунок 1.1 – Класифікація систем підтримки рішень

СПР, що керуються повідомленнями – це тип СПР, який базується на комунікаціях та спільній підтримці прийняття рішень. Проста дошка оголошень або ланцюгова електронна пошта — найпростіший рівень функціональності. СПР на основі повідомлень дозволяє двом або більше людям спілкуватися один з одним, обмінюватися інформацією та координувати свою діяльність [70]. Системи підтримки групового прийняття рішень, або GDSS, є гібридним типом DSS, який дозволяє кільком користувачам працювати разом у групах за допомогою різних програмних засобів. Прикладами засобів підтримки груп є: аудіо та відео конференції, дошки оголошень і веб-конференції, обмін документами, електронна пошта, програмне забезпечення для відео повідомлень [70].

Програмне забезпечення DSS на основі повідомлень містить принаймні одну з наступних характеристик:

- дозволяє спілкуватися між групами людей;
- сприяє обміну інформацією;
- підтримує співпрацю та координацію між людьми;
- підтримує групові рішення.

Ключові дослідницькі питання для DSS, керованих повідомленнями, включають вплив на групові процеси та групову обізнаність, багатокористувацькі інтерфейси, контроль паралельності, комунікацію та координацію всередині групи, спільний інформаційний простір і підтримку відкритого середовища, яке інтегрує існуюче користувацьке середовище.

Основна мета СПР, керованих документами, полягає в тому, щоб допомогти особам, які приймають рішення, і менеджерам отримувати інформацію та знання з даних і документів. Ці системи спрямовані підтримувати управлінську діяльність, таку як управлінський контроль і стратегічне планування. Він також має на меті забезпечити процес прийняття рішень [117].

СПР, керовані документами, в основному зосереджені на зборі, аналізі та організації неструктурованих документів. Отже, документи класифікуються на три основні категорії, як наведено в таблиці 1.1 із прикладами кожної категорії [127, 128]:

Таблиця 1.1 – Опис типів документів у СПР, що керуються документами

Типи документів	Приклади
Усні (неписані) документи	Усні лекції, офіційні промови
Відео документи	Відеофільми, телевізійна реклама та новини
Письмові документи	Електронні листи, звіти, каталоги

Однак лише 10–15% цих документів використовуються для прийняття рішень. Крім того, документи є неструктурованими. Головне завдання керівників вищої ланки та ІТ-працівників виникає в тому, щоб зв'язувати документи за допомогою DSS і зберігати їх у базах даних, щоб вони були доступні для доступу, опрацьовані та проаналізовані для підтримки процесу прийняття рішення [164].

СПП, що керовані документами, мають кілька особливостей, які відрізняють його від інших типів. З точки зору користувача, то користувач може отримати необхідні дані за допомогою збережених запитів, власного пошуку, а інколи система надає інтерфейс для логічних операторів. Крім того, деякі системи забезпечують пошук метаданих, тобто даних, які містять таку інформацію, як дата зміни, збережений файл, номери версій, автор документа та інша історія, деякі індексні дані, які можуть бути згенеровані людиною або машиною. До індексних даних можна віднести ключові слова, тему та/або назви, які вважаються змістом колекції документів. Крім того, деякі системи включають тригери та сповіщення, щоб допомогти користувачі встановлювати правила для сповіщень і попередньо визначених дій, коли відбуваються зміни в документах або виконання завдань обробки рішень. Навігація по документах і перегляд дозволяє користувачам досліджувати та швидко сканувати документи [164].

На сьогодні СПР, які керовані документами є однією з найважливіших систем управління в сучасному середовищі бізнесу, які використовуються багатьма організаціями через їх вирішальну роль в успішному менеджменті в різних галузях.

СПР, на основі веб - це комп'ютеризована система, яка надає інформацію для підтримки прийняття рішень або інструменти підтримки прийняття рішень менеджера або бізнес-аналітику за допомогою веб-браузера «тонкого клієнта», а комп'ютерний сервер, на якому розміщено програму DSS, з'єднаний з комп'ютером користувача мережею за допомогою відповідного

протоколу. Веб-сервер DSS може керуватися зв'язком, даними, документами, знаннями, моделями, або містить гібридне управління.

Основна структура СПР, на основі веб, включає користувачів, відповідні входи та виходи. Архітектура таких СПР включає різноманітні технології, що підтримуються різними DSS. Методи включають дані, інтелектуальний аналіз, містять інформацію про методи видобування даних, таких як шлях до встановлення зв'язку між веб-інформацією [29, 162, 199].

СПР, що керуються даними, є спеціалізованими програмними рішеннями для отримання, управління та представлення інформації. Ці системи зазвичай розробляються з використанням тих самих програмних засобів, технологій і процесів, які використовуються для створення будь-якого іншого типу програмного забезпечення [113]. Системи, що керуються даними, — це програмні рішення для управління інформацією та даними. Системи даного типу виконують дві основні функції — це отримання та представлення інформації.

Збір інформації зазвичай виконується за допомогою форм введення даних або через взаємодію із зовнішніми джерелами даних. Представлення інформації стосується пошуку та відображення збереженої інформації для користувача з відповідними засобами навігації та запитів. Системи, керовані даними, також характеризуються потребою інтенсивної взаємодії з користувачем як для отримання, так і для пошуку інформації. Вони поза сумнівом серед найпоширеніших типів адаптованих програмних систем, які використовуються сьогодні. Системи реєстрації в університетах, програми електронної комерції, системи управління контентом, фінансові та бухгалтерські додатки — це декілька прикладів програм, керованих даними [23, 33, 113].

Системи сховищ даних, які дозволяють маніпулювати даними за допомогою комп'ютеризованих інструментів, адаптованих до конкретного завдання та налаштувань, або більш загальних інструментів і операторів, які надають додаткові функції. СПР, що керуються даними із онлайн-аналітичною

обробкою (OLAP) забезпечують найвищий рівень функціональності та підтримки прийняття рішень, пов'язаних з аналізом великих обсягів історичних даних. EIS (виконавчі інформаційні системи) та GIS (геоінформаційні систем) є СППР спеціального призначення, які керовані даними [104, 134].

Сховище даних — це база даних, яка використовується для формування рішень в організаціях. Вона пакетно оновлюється та структурується для швидких онлайн-запитів і управлінських висновків. У сховищах даних розміщаються великі обсяги даних різної структури та походження. Сховище даних — це інтегрований, предметно-орієнтований, змінний у часі, енергонезалежний набір даних для підтримки процесу прийняття рішень керівництвом [104, 134].

Програмне забезпечення онлайн-аналітичної обробки (OLAP) використовується для маніпулювання даними з різних джерел, які зберігаються в статичному сховищі даних. ПЗ може створювати різноманітні перегляди та представлення даних. Для визначення програмного продукту додатком OLAP, він має містити три наступні ключові характеристики: 1. багатовимірне представлення даних; 2. складні розрахунки; 3. можливості обробки, орієнтовані на час [19, 198].

Інформаційні системи (EIS) — це комп'ютеризовані системи, призначені для надання актуальної та відповідної інформації для підтримки прийняття виконавчих рішень для менеджерів за допомогою мережевої робочої станції [26]. Основна увага приділяється графічним дисплеям і зручному інтерфейсу, які представляють інформацію з корпоративної бази даних. Вони є інструментами для надання готових звітів або брифінгів керівникам найвищого рівня. EIS пропонує потужні звіти та можливості деталізації.

Геоінформаційна система (GIS) або Spatial DSS — це система підтримки, яка представляє дані за допомогою карт. Це допомагає людям отримувати

доступ, відображати та аналізувати дані, які мають географічний зміст і значення [24, 157].

Незважаючи на існування постійного попиту на розробку нових керованих даними систем, вони здебільшого розробляються як одноразові проекти з незначним повторним використанням поза тим, що пропонують технології розробки та мови програмування, які використовуються.

СПР, що керуються моделями - дозволяють користувачеві аналізувати та маніпулювати конкретними моделями даних. Ці системи підтримки прийняття рішень є специфічними для типу моделі, з якою користувач хоче взаємодіяти, і зазвичай вимагають та пропонують менше даних, ніж інші типи DSS. Вони аналізують сценарії та дані, щоб дозволити користувачеві маніпулювати моделлю, наприклад створювати робочий графік, генерувати відповідну діаграму. Вони можуть використовувати прості інструменти аналізу або складну статистику, залежно від мети моделі та потреб користувача. Менеджери, персонал і треті сторони, які взаємодіють з компанією, можуть використовувати СПР, що керуються моделями [13, 163].

Системна архітектура СПР, що керуються моделями, має апаратну інфраструктуру та пакет програмного забезпечення. Він поділяється на керування інтерфейсом користувача, управління збором даних і управління знаннями. Інтегрована модель аналізу рішень може бути включена в архітектуру системи для реалізації, як показано на рисунку 1.2 [100].

Прикладами програмного забезпечення СПР, що керуються моделями є наступні групи: програмне забезпечення для планування, економіко-математичне моделювання, моделювання аналізу рішень, програмне забезпечення для оптимізації.

СПР, що керується знаннями – це інтелектуальні системи зі спеціалізованим досвідом вирішення проблем. Експертне рішення, яке формується із використанням даного класу СПР складається зі знань про певну область, розуміння проблем у цій галузі та «навички» вирішення деяких із цих проблем. Схожою концепцією є інтелектуальний аналіз даних. Це відноситься

до класу аналітичних програм, які шукають приховані шаблони в базі даних. Інтелектуальний аналіз даних – це процес просіювання великих обсягів даних для створення зв'язків вмісту даних. Інструменти, які використовуються для побудови СПР на основі знань, іноді називають методами інтелектуальної підтримки прийняття рішень [207].

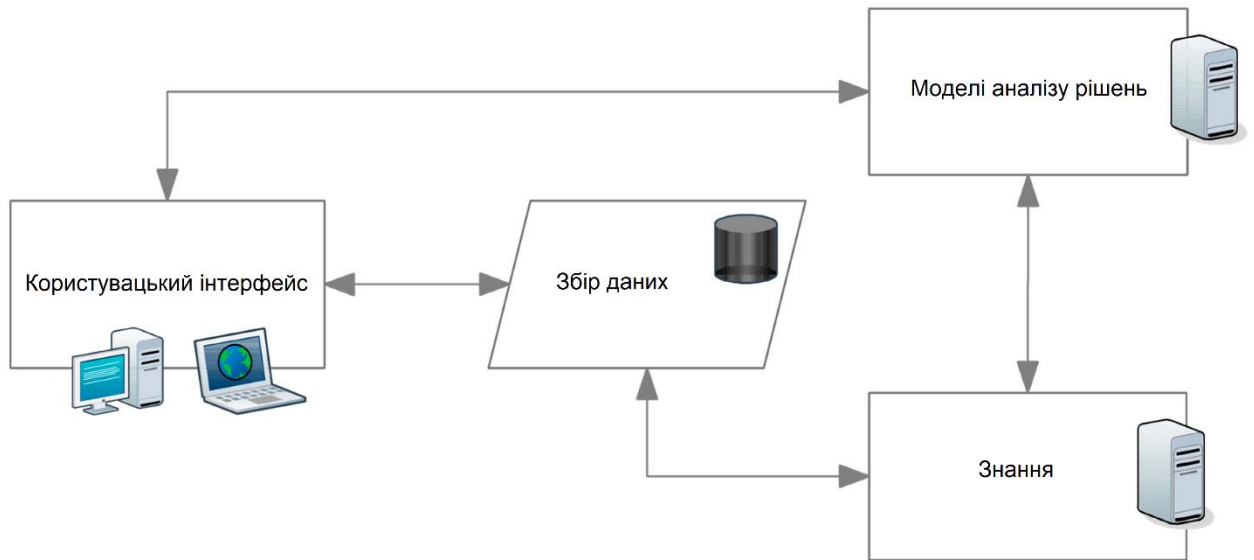


Рисунок 1.2 – Узагальнена архітектура СПР, що керується моделями [100].

Завдяки СПР, що керується знаннями, система управління знаннями відстежує постійно оновлюванні дані про організацію для підтримки рішень. СПР використовує діагностику, передбачення, інтерпретацію та класифікацію, щоб рекомендувати дії, які відповідають бізнес-проектам. Керована знаннями СПР може бути корисною для менеджерів, оскільки виконує завдання швидше, ніж може людина. Вони також можуть допомогти споживачам вирішити, які продукти та послуги купувати. Цей тип DSS часто покладається на компонент інтелектуального аналізу даних. Менеджери, персонал і зовнішні користувачі, наприклад клієнти, можуть використовувати DSS, що керується знаннями.

Приклади програмного забезпечення СПР, що керується знаннями, включають: програмне забезпечення, яке визначає нових або поточних клієнтів, які можуть бути зацікавлені в продуктах, програмне забезпечення підбору товару тощо [110].

У таблиці 1.2. представлено порівняльний аналіз відомих систем підтримки прийняття рішень.

Таблиця 1.2 – Типи систем підтримки прийняття рішень

Атрибути	СПР, що керуються повідомленнями	СПР, що керуються документами	СПР, на основі веб	СПР, що керуються даними	СПР, що керуються моделями	СПР, що керуються знаннями
Призначення	<ul style="list-style-type: none"> • Організація зустрічей • Обмін повідомленнями 	<ul style="list-style-type: none"> • Пошук веб-сторінок • Пошук документів 	Підтримка прийняття рішень на основі веб	<ul style="list-style-type: none"> • Допомагає розв'язати переважно неструктуровані проблеми • Відображення розробки та знаходження відношень або шаблонів. • Користувач переважно взаємодіє з даними. 	<ul style="list-style-type: none"> • Використовуються для розв'язку чіткої та структурованої проблеми • Користувач переважно взаємодіє з математичною моделлю та результатами 	<ul style="list-style-type: none"> • Поради для прийняття рішень • Вибір продуктів
Група користувачів	Внутрішні та зовнішні користувачі	<ul style="list-style-type: none"> • Спеціалісти • Менеджери 	• Спеціалісти	<ul style="list-style-type: none"> • Менеджери • Інший персонал 	<ul style="list-style-type: none"> • Керівники та персонал • Клієнти 	<ul style="list-style-type: none"> • Внутрішні користувачі • Клієнти
Включення технології	<ul style="list-style-type: none"> • Локальна або глобальна мережа • Веб-інтерфейс 	• Веб-інтерфейс	• Веб-інтерфейс	<ul style="list-style-type: none"> • Mainframe • Локальна мережа • Веб-інтерфейс 	<ul style="list-style-type: none"> • Автономний, веб-інтерфейс, ПК 	<ul style="list-style-type: none"> • Локальна або глобальна мережа • Веб-інтерфейс
Тип моделі	<ul style="list-style-type: none"> • Комунікації. • Моделі рішень. 	<ul style="list-style-type: none"> • Когнітивне моделювання • Нечітка теорія 	• Комунікації	Містить, загалом, прості моделі.	<ul style="list-style-type: none"> • Містить, загалом, різноманітні і складні моделі. 	<ul style="list-style-type: none"> • Використовується спеціальна модель для обробки правил або ідентифікації зв'язків у даних.
Кількість даних	• Велика кількість даних	<ul style="list-style-type: none"> • Усні • Письмові • Відеодані потребують великого обсягу даних. 	• Велика кількість даних	<ul style="list-style-type: none"> • Великі обсяги даних мають вирішальне значення. 	<ul style="list-style-type: none"> • Велика кількість даних не потрібна 	<ul style="list-style-type: none"> • Використовуються сховища знань, а тому потрібно велика кількість даних
Основний інструмент або компонент	Кімнати для прийняття рішень, двосторонні інтерактивні відеоконференції, чати,	<ul style="list-style-type: none"> • Технології зберігання та обробки документів 	Технології дистанційного опрацювання даних	<ul style="list-style-type: none"> • Історичні дані • Онлайн аналітична обробка • Інструменти звітності 	<ul style="list-style-type: none"> • Алгебраїчні • Рішення є аналітичним • Моделювання 	<ul style="list-style-type: none"> • Бізнес-правила та бази знань

В результаті проведеного аналізу встановлено, що СПР, які найбільше підходять для підтримки прийняття рішень в різних предметних областях, зокрема медицині та екології, а особливо враховуючи умови невизначеності процесів в даних предметних областях – СПР, що керуються даними, моделями та знаннями.

Невід’ємною компонентою зазначених типів СПР є математичні моделі, а виходячи із специфіки досліджуваних в роботі предметних областей, саме застосування математичного моделювання дозволить отримувати необхідні управлінські рішення, виходячи із складності об’єкта.

З точки зору «Теорії систем» [17], під складністю системи розуміємо наявність різноманітних взаємопов’язаних елементів, які важко досліджувати повністю, а складність об’єкта – це його властивість, яка може проявлятися у випадковості, нез’ясовності, непередбаченості його поведінки. Саме моделювання поведінки зазначеного типу об’єктів розглядається у дисертаційній роботі.

1.2. Аналіз методів та засобів побудови моделей характеристик складних об’єктів в умовах невизначеності

Модель об’єкта представляється у вигляді певного типу рівнянь, це можуть бути диференціальні рівняння або, наприклад, алгебраїчні, які описуються наступним відношенням [15, 23, 24, 67, 68, 72, 81, 94, 115, 158, 171, 179, 206, 230, 231, 265]:

$$y = \Phi(\vec{x}, \vec{p}), \quad (1.1)$$

де y - вихідна характеристика; \vec{x} - вектор вхідних змінних; \vec{p} - вектор невизначених факторів або похибок; Φ - диференціальний чи алгебраїчний оператор, що здійснює перетворення вхідних змінних та невизначених факторів у представлений результат спостереження вихідної характеристики.

Зазначений підхід використовується в теорії систем та в теорії ідентифікації моделей складних об'єктів.

Розглянемо випадок, коли Φ - деякий параметр моделі, і, відповідно, отримаємо вираз для математичної моделі наступного вигляду:

$$\hat{y} = \phi_1 \varphi_1(\vec{x}) + \dots + \phi_m \varphi_m(\vec{x}), \quad (1.2)$$

де \hat{y} - результат моделювання, що характеризує значення вихідної характеристики складного об'єкта; ϕ_1, \dots, ϕ_m - параметри (коефіцієнти) моделі; $\varphi_1(\vec{x}), \dots, \varphi_m(\vec{x})$ - вектор базисних функцій для представлення вхідних змінних.

В теорії ідентифікації моделей систем [123, 169, 224, 230] є: параметрична та структурна ідентифікація. Для параметричної ідентифікації вектор базисних функцій $\varphi(\vec{x})$ є відомим, а невідомими залишаються тільки параметри ϕ . Для структурної ідентифікації невідомими є базисні функції і відповідно параметри математичної моделі [55, 137, 138, 258].

Для обох типів ідентифікації налаштування здійснюються на основі отриманих результатів проведеного експерименту, який можна описати у наступному матричному представленні:

$$F = \begin{pmatrix} \varphi_1(\vec{x}_1) \cdots \varphi_m(\vec{x}_1) \\ \varphi_1(\vec{x}_2) \cdots \varphi_m(\vec{x}_2) \\ \vdots \\ \varphi_1(\vec{x}_i) \cdots \varphi_m(\vec{x}_i) \\ \vdots \\ \varphi_1(\vec{x}_{N-1}) \cdots \varphi_m(\vec{x}_{N-1}) \\ \varphi_1(\vec{x}_N) \cdots \varphi_m(\vec{x}_N) \end{pmatrix}; \vec{Y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_i \\ \vdots \\ y_{N-1} \\ y_N \end{pmatrix} \quad (1.3)$$

У наведеному вище представленні неврахований вектор набору невизначених факторів або похибок. По своїй природі ці фактори видозмінюють вихідну характеристику складного об'єкта, що є

обґрунтованим в теорії систем. Для представлення невизначеності використовують різні моделі [224, 230, 231]: стохастичну, нечітку чи інтервальну.

Для стохастичної моделі невизначеність представляється за вихідною змінною наступним відношенням

$$y = y_0 + e, \quad (1.4)$$

де y - спостережуване значення вихідної характеристики складного об'єкта, y_0 - істинне невідоме значення; e – похибка, яка описує невизначеність через дію вектора випадкових чинників \vec{p} .

Для представлення інтервальної невизначеності використовують наступні умови

$$y_{0i} \in [y_i^-, y_i^+] \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1.5)$$

де $[y_i^-, y_i^+]$ $i = 1, \dots, N$ - межі значень вихідних характеристик спостережуваного об'єкта.

Для нечіткого представлення вихідних характеристик, до спостережуваного значення додають такий тип характеристики як «впевненість», а значення цієї характеристики обчислюють в інтервалі від 0 до 1. Ця характеристику представляється деякою функцією належності $\mu(y)$:

$$y_{0i}^{\mu(y)} \in [y_i^-, y_i^+] \quad \forall i = 1, \dots, N. \quad (1.6)$$

Розглянуті випадки вимагають більше інформації про досліджуваний об'єкт, який використовується для побудови математичних моделей в системах прийняття рішень, які орієнтовані на дані, моделі чи знання [13].

Саме для знання-орієнтованих систем, які у своїй основі використовують дані, моделі чи знання, цей спосіб є найбільш прийнятним у

випадку обмеженості інформації, оскільки він дає можливість створити математичні моделі складних об'єктів з гарантованими прогностичними властивостями [224-226].

При розв'язанні зазначеного вище класу задач найчастіше використовуються методи, які ґрунтуються на дедуктивному та індуктивному підходах, класифікацію яких представлено на рисунку 1.3.

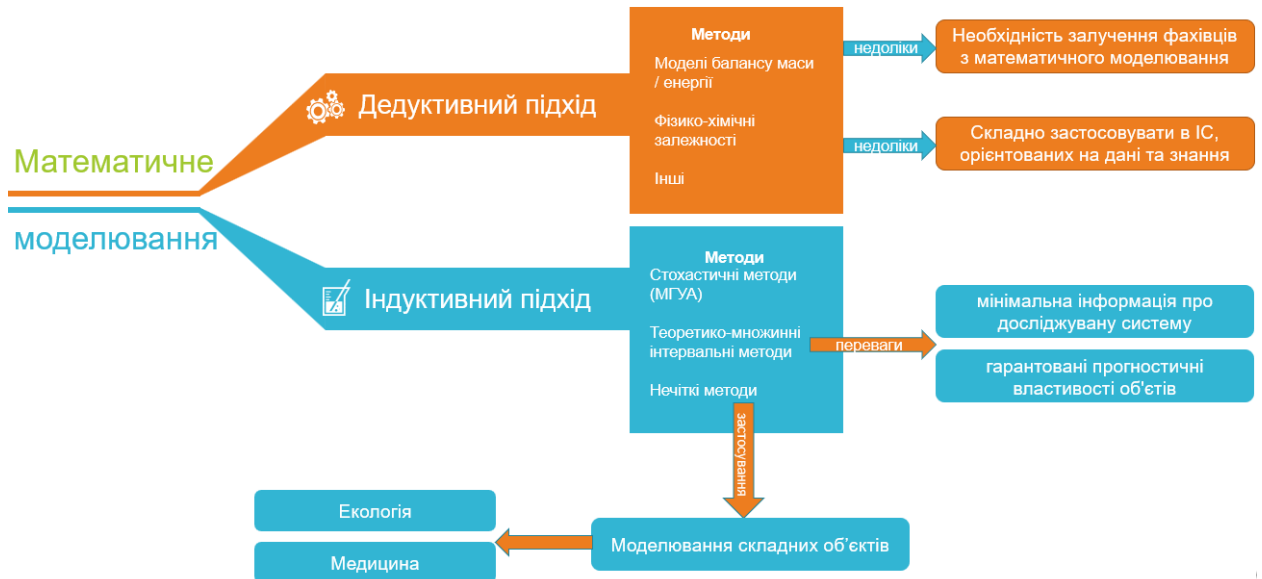


Рисунок 1.3 – Класифікація методів математичного моделювання в рамках дедуктивного та індуктивного підходів

Для побудови математичних моделей зазначеного класу складних об'єктів спільною характеристикою є необхідність синтезу моделі при невідомій структурі та відповідно параметрах. Для побудови моделей такого типу часто використовують дедуктивний підхід, коли загальний вигляд диференціального рівняння визначають виходячи з певних фізичних міркувань, з подальшими процедурами дискретизації та розв'язання.

Проте, для реалізації дедуктивних методів необхідно детального вивчити фізичні характеристики процесу, визначити коефіцієнти дифузії чи масоперенесення, а це призводить до суттєвого ускладнення задач математичного моделювання. У деяких випадках застосування зазначеного підходу взагалі не є прийнятним через те, що деякі структурні елементи

моделі, виходячи із математичної точки зору, можна адекватно трактувати. Водночас, це досить суттєво ускладнює саму математичну модель і підвищує обчислювальну складність її використання.

Іншим напрямком математичного моделювання є індуктивний підхід, який базується на самоорганізованому процесі еволюційного переходу від експериментальних даних до побудови конкретних математичних моделей, які відображають закономірності функціонування імітованих об'єктів і систем, які закладені в існуючих експериментальних, дослідницьких дослідженнях та статистичних даних [10, 65, 76, 77, 78, 79, 80, 112, 190, 262, 263].

Важливою особливістю реалізації індуктивного підходу є характер невизначеності в інформаційних масивах даних (імовірнісна, інтервальна, нечітка), оскільки цей підхід базується на методах аналізу даних.

У межах індуктивного підходу математичні моделі представляють у вигляді різницевих операторів. Різницевий оператор - дискретний аналог диференціальних рівнянь в частинних похідних. До відомих індуктивних методів належать: метод групового урахування аргументів (МГУА), редукції, методи з використанням генетичних алгоритмів та ін [10, 65, 78, 262, 263]. Суттєві результати при дослідженні на основі індуктивного підходу отримали наукові школи відомих учених: Акаїке Н., Haber R., Ljung L., Дивака М. П., Івахненко О. Г., Степашка В. С. та інших.

Деякі з зазначених методів характеризується високою обчислювальною складністю в процесі пошуку моделі, яка часто може біти і не оптимальною, тобто «заскладною», а такі методи як МГУА, не дозволяють утримувати задану точність моделювання в межах похибок даних експериментів [49].

Для досліджуваних складних об'єктів, переважно експериментальні дані формуються з вимірювальних пристроїв, що мають визначені похибки вимірювань. Для врахування невизначеності в експериментальних даних необхідно використовувати методи, які ґрунтуються на інтервальному аналізі даних.

Розглянемо детальніше особливості процесу математичного моделювання в умовах інтервальної невизначеності.

1.3. Методи математичного моделювання на основі інтервального аналізу та їх використання в задачах структурної та параметричної ідентифікації моделей складних об'єктів

1.3.1. Постановка задачі математичного моделювання на основі інтервальних даних

Проблема моделювання об'єктів на основі інтервальних даних розглядається в [7, 36, 39, 41, 42, 43, 50, 224, 230, 231]. Автори інтервального підходу заявляють, що він має ряд переваг перед стохастичним (імовірнісним) підходом. Серед них – відсутність вимоги дослідження статистичних характеристик об'єкта моделювання. Як відомо, це зменшує кількість експериментів (відбір та накопичення даних). Тому інтервальний підхід більш корисний для дослідження властивостей складного об'єкта в умовах обмеженої вибірки даних. Для розробки систем підтримки прийняття рішень, які орієнтовані на дані, моделі та знання, слід детального розглянути основні поняття цього підходу .

По-перше, основна концепція, яка відноситься до даного методу полягає у представленні даних у вигляді інтервалів можливих значень модельованої характеристики [7, 36, 39, 41-43, 50- 53, 57, 99, 129-131, 172, 180, 181, 235]:

$$[z_{(i,j,h,k)}^-; z_{(i,j,h,k)}^+], \quad i = 0, 1, 2, \dots, I, \quad j = 0, 1, 2, \dots, J, \quad h = 0, 1, 2, \dots, H, \quad k = 0, 1, 2, \dots, K, \quad (1.7)$$

де $[z_{(i,j,h,k)}^-; z_{(i,j,h,k)}^+]$ – відповідно нижня та верхня межі інтервалів можливих значень вихідної характеристики в точці з дискретно заданими просторовими координатами $i = 0, \dots, I, j = 0, \dots, J, h = 0, \dots, H$ (для об'єктів із розподіленими

параметрами) та часовими $k=0, \dots, K$ (для динамічних об'єктів, наприклад динаміка забруднення повітря від транспортних засобів в дискретний час).

Зауважимо, що у вимірювальному експерименті нижня і верхня межі можуть бути встановлені відносною похибкою вимірювального приладу: $z_{(i,j,h,k)}^- = z_{(i,j,h,k)} - z_{(i,j,h,k)} \cdot \varepsilon$ і $z_{(i,j,h,k)}^+ = z_{(i,j,h,k)} + z_{(i,j,h,k)} \cdot \varepsilon$, де $z_{(i,j,h,k)}$ – виміряне значення характеристики; ε є відносною похибкою вимірювання.

Представлення експериментальних даних в інтервальному вигляді (1.7) доцільно у випадках: коли похибка вимірювань значно перевищує методологічні похибки та похибки моделювання, інтервали (1.7) задають межі допуску відхилень модельованої характеристики об'єкта від номінальної, при умові відомих максимальних значення похибок в експерименті [172, 180, 181, 224, 235].

Далі необхідно визначити математичний об'єкт для представлення моделі об'єкта. У даному випадку він обмежується дискретною лінійною моделлю в наступному представленні

$$v_{(i,j,h,k)} = \vec{f}^T (v_{(i-d,j-d,h-d,k-d)}, v_{(i-d+1,j-d,h-d,k-d)}, \dots, v_{(i-1,j-1,h-1,k-1)}), \quad (1.8)$$

$$\vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k} \cdot \vec{g}, \quad i = d, \dots, I, \quad j = d, \dots, J, \quad h = d, \dots, H, \quad k = d, \dots, K$$

де $\vec{f}^T(\bullet)$ – вектор базисних функцій, в загальному випадку нелінійних, за допомогою яких перетворюються значення модельованої характеристики об'єкта, а також вхідні змінні в дискретних точках простору та за певний дискретний час.

У результаті виконання процедури структурної ідентифікації визначається дискретна модель, зокрема: вектор базисних функцій $\vec{f}^T(\bullet)$; множини та розмірність векторів вхідних змінних $\vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}$; $d \in$

порядком дискретної моделі, який, як відомо, еквівалентний порядку диференціального рівняння, аналогічного дискретній моделі. Для побудови дискретної моделі в інтервальному вигляді необхідно також сформулювати початкові умови, тобто значення кожного елемента в множині $v_{0,0,0,0,\dots}, v_{d-1,d-1,d-1,d-1}, \vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}$ для певного дискретного значення, як правило початкового, і задати значення компонентів у векторі параметрів \vec{g} .

Якщо загальний вигляд дискретної моделі відомий, наприклад з фізичних міркувань, залишається ідентифікувати параметри \vec{g} таким чином, щоб забезпечити максимальну узгодженість модельованої характеристики складного об'єкта із значеннями цієї характеристики, які отримані на основі проведених експериментів. Ця задача називається задачею параметричної ідентифікації [56, 59, 224, 231].

Припустимо, що вектор оцінок \vec{g} параметрів \vec{g} у різницевому операторі (1.8) отримано на основі інтервального аналізу даних. Підставляючи вектор оцінок параметрів \vec{g} з різницевого оператора замість вектора їх істинних значень \vec{g} у вираз (1.8) разом із заданими початковими інтервальними значеннями кожного елемента множини $\widehat{v}_{0,0,0,0,\dots}, \widehat{v}_{d-1,d-1,d-1,d-1}$, заданих векторів вхідних змінних $\vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}$ можна отримати інтервальну оцінку модельованої характеристики $[\widehat{v}_{i,j,h,k}]$ в точках з дискретними просторовими координатами $i = d, \dots, I, j = d, \dots, J, h = d, \dots, H$ і дискретними за часом $k = d, \dots, K$:

$$\begin{aligned} [\widehat{v}_{i,j,h,k}] &= [\widehat{v}_{i,j,h,k}^-, \widehat{v}_{i,j,h,k}^+] = \vec{f}^T([\widehat{v}_{(i-d,j-d,h-d,k-d)}]), \dots, \\ &[\widehat{v}_{(i-1,j-1,h-1,k-1)}], \vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}, \vec{g}, \end{aligned} \quad (1.9)$$

$$i = d, \dots, I, j = d, \dots, J, h = d, \dots, H, k = d, \dots, K$$

Тепер можна математично сформулювати задачу параметричної ідентифікації інтервальної дискретної моделі (ІДМ) на основі інтервального аналізу даних. Умови узгодження експериментальних даних, поданих в інтервальній формі (1.7), з даними, отриманими на основі макромоделі у формі ІДМ (1.9), формулюються наступним чином [224, 230, 231]:

$$\begin{aligned} & [\widehat{v}^-_{i,j,h,k}; \widehat{v}^+_{i,j,h,k}] \subseteq [z^-_{i,j,h,k}; z^+_{i,j,h,k}], \\ & \forall i = 0, \dots, I, \forall j = 0, \dots, J, \forall h = 0, \dots, H, \forall k = 0, \dots, K \end{aligned} \quad (1.10)$$

Вказані у відношенні (1.10) умови забезпечують формування оцінок модельованої характеристики складного об'єкта в межах можливих значень характеристики, які отримано експериментально.

Підставимо в рівняння (1.10) замість інтервальних оцінок $[\widehat{v}^-_{i,j,h,k}; \widehat{v}^+_{i,j,h,k}]$ змодельованої характеристики її інтервальні значення, розраховані на основі ІДМ (1.9) разом з урахуванням заданих значень кожного елемента:

$$[\widehat{v}_{0,0,0,0}] \subseteq [z_{0,0,0,0}], \dots, [\widehat{v}_{i-1,j-1,h-1,k-1}] \subseteq [z_{i-1,j-1,h-1,k-1}], \quad (1.11)$$

і задані вектори вхідних змінних $\vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}$ отримаємо

$$\left\{ \begin{aligned} & [\widehat{v}^-_{i,j,h,k}; \widehat{v}^+_{i,j,h,k}] \subseteq [z^-_{i,j,h,k}; z^+_{i,j,h,k}]; \\ & [\widehat{v}^-_{d-1,d-1,d-1,d-1}; \widehat{v}^+_{d-1,d-1,d-1,d-1}] \subseteq \\ & \subseteq [z^-_{d-1,d-1,d-1,d-1}; z^+_{d-1,d-1,d-1,d-1}]; \\ & z^-_{i,j,h,k} \leq \vec{f}^T([\widehat{v}(i-d,j-d,h-d,k-d)], \dots, \\ & \dots, [\widehat{v}(i-1,j-1,h-1,k-1)], \vec{u}_0, \dots, \vec{u}_k) \cdot \vec{g} \leq z^+_{i,j,h,k}; \\ & i = d, \dots, I, j = d, \dots, J, h = d, \dots, H, k = d, \dots, K. \end{aligned} \right. \quad (1.12)$$

Таким чином, рівняння (1.12) отримано шляхом підстановки інтервальних оцінок початкової характеристики $\left[\widehat{v}_{i,j,h,k}^-; \widehat{v}_{i,j,h,k}^+ \right]$ (заданих як початкові умови та прогнозованих на основі виразу (1.9)) в умови (1.10).

Як відомо, отримана система є інтервальною системою нелінійних алгебраїчних рівнянь (ІСНАР). Отже, задача ідентифікації параметрів ІДМ (1.9) за умов (1.10) є задачею розв'язування ІСНАР у формі (1.12).

Слід зазначити, що ІСНАР (1.12) формується періодично. Загальна кількість інтервальних рівнянь є добутком $I \times J \times H \times K$. Очевидно, що чим більше рівнянь в інтервальній системі, тим складніше знайти розв'язок ІСНАР.

Враховуючи те, що ця задача не може бути розв'язана за задану кількість ітерацій, цей тип задачі належить до NP-повних [17, 19, 91, 224]. Єдиний спосіб вирішити цю проблему — виконати повний або випадковий пошук. Враховуючи складність задачі параметричної ідентифікації ІДМ, для знаходження хоча б одного рішення ІСНАР можна використовувати методи випадкового пошуку [224].

Ці обчислювальні схеми для реалізації методу параметричної ідентифікації ІДМ базуються на чотирьох-крокових процедурах [54, 59, 224, 230, 231].

Крок 1. Задати початкові умови у формі (1.11).

Крок 2. Задати початкову \vec{g}_0 або випадково сформувати поточну \vec{g}_l оцінку вектора параметрів ІДМ.

Крок 3. Розрахунок інтервальних оцінок модельованої характеристики $\left[\widehat{v}_{i,j,h,k} \right]$ в точках з координатами $i = d, \dots, I, j = d, \dots, J, h = d, \dots, H$ та дискретними за часом $k = d, \dots, K$ за допомогою рекурентної схеми (1.10).

Крок 4. Перевірити «якість» $\delta(\vec{g}_l)$ поточної апроксимації оцінки \vec{g} вектора параметрів ІДМ [54, 59, 224].

На цьому кроці припустимо, що «якість» апроксимації буде вищою, якщо прогнозований коридор, який побудований на основі цієї апроксимації вектора параметрів, буде ближче до експериментального.

Якщо розраховане значення «якості» $\delta(\vec{g}_l)$ поточної апроксимації оцінки \vec{g} вектора параметрів ІДМ на поточній ітерації дорівнює нулю ($\delta(\vec{g}_l) = 0$), то процедуру закінчено, інакше переходимо до кроку 2.

Якість апроксимації буде кількісно визначена як різниця між центрами найбільш віддалених інтервалів, прогнозованого та експериментального відповідно, у випадку, якщо вони не перетинаються і ширина перетину прогнозованого та експериментального інтервалів є найменшою - для випадку їх перетину [224, 230]. Формально ці умови можна записати наступним чином:

$$\delta(\vec{g}_l) = \max_{i=d, \dots, I, j=d, \dots, J, h=d, \dots, H, k=d, \dots, K} \left\{ \left| \text{mid}(\widehat{v}_{i,j,h,k}) - \text{mid}(z_{i,j,h,k}) \right| \right\}, \quad (1.13)$$

якщо $\widehat{v}_{i,j,h,k} \cap [z_{i,j,h,k}] = \emptyset \exists i = d, \dots, I, \exists j = d, \dots, J, \exists h = d, \dots, H, \exists k = d, \dots, K$

$$\delta(\vec{g}_l) = \max_{i=d, \dots, I, j=d, \dots, J, h=d, \dots, H, k=d, \dots, K} \left\{ \begin{array}{l} \text{wid}(\widehat{v}_{i,j,h,k}) - \\ -\text{wid}(\widehat{v}_{i,j,h,k} \cap [z_{i,j,h,k}]) \end{array} \right\}, \quad (1.14)$$

якщо $\widehat{v}_{i,j,h,k} \cap [z_{i,j,h,k}] \neq \emptyset \forall i = d, \dots, I, \forall j = d, \dots, J, \forall h = d, \dots, H, \forall k = d, \dots, K$

де $\text{mid}(\bullet)$ і $\text{wid}(\bullet)$ - операції визначення центру та ширини інтервалу відповідно до інтервальної арифметики.

Тому задача параметричної ідентифікації інтервальних моделей складного об'єкта формалізується у вигляді наступної оптимізаційної задачі [224, 231]:

$$\delta(\vec{g}_l) = \vec{g}_l \rightarrow \min, \vec{g}_l \in [g_{jl}^{low}; g_{jl}^{up}], j = 1, \dots, m, l = 1, \dots, s \quad (1.15)$$

де значення цільової функції $\delta\left(\vec{g}_l\right)$ обчислюється за формулами (1.13) або (1.14).

Розглянемо проблему структурної ідентифікації ІДМ у загальному вигляді (1.9). Складність задачі налаштування ІДМ (1.9) полягає в тому, що невідомі не тільки параметри, але й структура. У цьому випадку для знаходження параметрів ІДМ необхідно вирішити задачу параметричної ідентифікації, а ідентифікації структури – структурної ідентифікації. Зауважимо, що обидві ці задачі дуже тісно пов'язані, оскільки параметрична ідентифікація є структурним етапом, і для пошуку одного розв'язку необхідно зробити багато спроб знайти вектор параметрів ІДМ. Зауважимо, що «успішність» задачі пошуку вектора параметрів ІДМ безпосередньо залежить від успішності процесу вибору його структури. Адже якщо визначена структура ІДМ є «невдалою», то розв'язок задачі параметричної ідентифікації знайти неможливо [224, 231].

Отже, параметрична ідентифікація є етапом структурної ідентифікації. Коли дані представлені в інтервальній формі, цей крок полягає в знаходженні оцінок параметрів ІДМ шляхом розв'язку ІСНАР (1.12) для відомого вектора базисних функцій, тобто множини структурних елементів ІДМ.

Для вирішення ІСНАР (1.12) використовується метод параметричної ідентифікації на основі процедур випадкового пошуку. Застосування цього методу передбачає замість розв'язування ІСНАР (1.12) пошук деякого наближення до його розв'язку, що визначає якість поточної структури ІДМ [224, 230].

Скористаємося деякими позначеннями, необхідними для розкриття суті постановки задачі. Позначимо λ_s поточну структуру ІДМ

$$\lambda_s = \{f_1^s(\bullet) \cdot g_1^s; \dots; f_{(m_s)}^s(\bullet) \cdot g_{(m_s)}^s\} \quad (1.16)$$

де $\vec{f}_1^s = \{f_1^s(\bullet) \cdot g_1^s; f_2^s(\bullet) \cdot g_2^s; \dots; f_{(m_s)}^s(\bullet)\} \subset F$ – набір структурних елементів, які визначають поточну структуру ІДМ.

Далі введемо наступні позначення: $m_s \in [I_{\min}; I_{\max}]$ – кількість елементів для поточної структури λ_s ; F – відповідно множина всіх структурних елементів, $F = \{f_1(\bullet); \dots, f_m(\bullet); \dots; f_L(\bullet)\}$, а $|F| = L$ (визначена потужність множини F); $\vec{g}^s = \{g_1^s; \dots; g_{m_s}^s\}$ є вектор невідомих значень параметрів. Структурна ідентифікація має на меті знайти структуру ІДМ λ_0 у вигляді (1.16), щоб на її основі була сформована інтервальна дискретна модель [55, 137, 138, 230, 231, 258]

$$[v_{i,j,h,k}(\lambda_0)] = [f_1^0(\bullet)] \cdot g_1^0 + [f_2^0(\bullet)] \cdot g_2^0 + \dots + [f_{m_0}^0(\bullet)] \cdot g_{m_0}^0 \quad (1.17)$$

умови (1.10) виконуються, тобто інтервальні оцінки прогнозованого значення змодельованої характеристики входять до інтервалів допускових значень змодельованої характеристики на множині всіх дискрет.

Якість діючої структури ІДМ оцінюється на основі значення показника $\delta(\lambda_s)$, який кількісно характеризує наближеність діючої структури до задовільного рівня з точки зору умов забезпечення (1.10). Далі $\delta(\lambda_s)$ будемо називати цільову функцію задачі оптимізації структурної ідентифікації математичної моделі з гарантованими прогностичними властивостями.

Показник якості $\delta(\lambda_s)$ для визначеної структури ІДМ λ_s розраховується за модифікованими виразами (1.13) і (1.14):

$$\delta(\lambda_s) = \max_{i=d, \dots, I, j=d, \dots, J, h=d, \dots, H, k=d, \dots, K} \{ |mid(\vec{f}_s^T([\hat{v}_{i-d, j-d, h-d, k-d}], \dots, [\hat{v}_{i-1, j-1, h-1, k-1}], \vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}) \cdot \hat{g}^s) - mid([z_{i,j,h,k}])| \}, \quad (1.18)$$

якщо $[\hat{v}_{i,j,h,k}] \cap [z_{i,j,h,k}] = \emptyset \exists i = d, \dots, I, \exists j = d, \dots, J, \exists h = d, \dots, H, \exists k = d, \dots, K;$

$$\begin{aligned} \delta(\lambda_s) = & \max_{i=d, \dots, I, j=d, \dots, J, h=d, \dots, H, k=d, \dots, K} \{wid(\vec{f}_s^T([\hat{v}_{i-d, j-d, h-d, k-d}], \dots, \\ & [\hat{v}_{i-1, j-1, h-1, k-1}], \vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}) \cdot \hat{g}) - \\ & -wid((\vec{f}_s^T([\hat{v}_{i-d, j-d, h-d, k-d}], \dots, [\hat{v}_{i-1, j-1, h-1, k-1}], \vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}) \cdot \hat{g}) \cap \\ & z_{i,j,h,k})\}, \end{aligned} \quad (1.19)$$

якщо $[\hat{v}_{i,j,h,k}] \cap [z_{i,j,h,k}] \neq \emptyset, \forall i = d, \dots, I, \forall j = d, \dots, J, \forall h = d, \dots, H, \forall k = d, \dots, K;$

де $mid(\bullet), wid(\bullet)$ – операції інтервального аналізу, що визначають центр і ширину інтервалів відповідно.

Вираз (1.18) описує «наближеність» поточної структури до задовільного рівня на початкових ітераціях, а вираз (1.19) у випадку $\delta(\lambda_s) = 0$ забезпечує виконання умови (1.10).

Задача структурної ідентифікації ІДМ формально записується, як задача знаходження мінімуму цільової функції $\delta(\lambda_s)$:

$$\delta(\lambda_s) \xrightarrow{\lambda_s = \{f_1^s(\vec{V}) \cdot g_{l1}^s, f_2^s(\vec{V}) \cdot g_{l2}^s, \dots, f_{m_s}^s(\vec{V}) \cdot g_{lm_s}^s\}} \min, \quad (1.20)$$

$$\begin{aligned} m_s \in [I_{min}; I_{max}], f_1^s(\vec{V}), f_2^s(\vec{V}), \dots, f_{m_s}^s(\vec{V}) \in F, \\ \hat{g}_{jl}^s \in [g_{jl}^{low}; g_{jl}^{up}], j = 1, \dots, m, l = 1, \dots, S \end{aligned} \quad (1.21)$$

де $m_s \in [I_{min}; I_{max}]$ – кількість елементів s інтервальної структури моделі; $F = \{f_1(\vec{V}), f_2(\vec{V}), \dots, f_m(\vec{V})\}$ це набір потенційних елементів структури в моделі.

З виразів (1.18) та (1.19) видно, що для розрахункового значення цільової функції $\delta(\lambda_s)$ для структури ІДМ λ_s нерівність $\delta(\lambda_s) \geq 0$ буде виконуватися за будь-яких умов. Отже, цільова функція $\delta(\lambda_s)$ має глобальний мінімум в точках, в яких рівність $\delta(\lambda_s) = 0$ виконується. На основі теорії множинності моделей [40] можна стверджувати, що функція $\delta(\lambda_s)$ має багато глобальних мінімумів.

«Кращою» є поточна структура ІДМ, в якій чим менше значення $\delta(\lambda_s)$. Якщо $\delta(\lambda_s) = 0$, то поточна структура ІДМ дозволяє побудувати адекватну модель, для якої прогнозовані значення досліджуваної характеристики належать інтервалам можливих значень модельованої характеристики.

Як бачимо, структурна ідентифікація ІДМ зводиться до багаторазового повторення розв'язування задачі параметричної ідентифікації. Тому актуальною проблемою є розробка методів структурної ідентифікації, які б зменшили кількість ітерацій методу знаходження адекватної структури математичної моделі, і, відповідно, зменшили б необхідну кількість повторень розв'язування задачі параметричної ідентифікації.

1.3.2. Методи структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів

Різноманітність методів, відсутність інструментальних засобів та відсутність єдиного підходу до побудови моделей складних об'єктів стримує використання зазначених методів для реалізації систем, керованих даними, моделями та знаннями.

На сьогоднішній день напрацьовано достатньо методів ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів, основні з яких представлено на рисунку 1.4 [224, 230, 231].

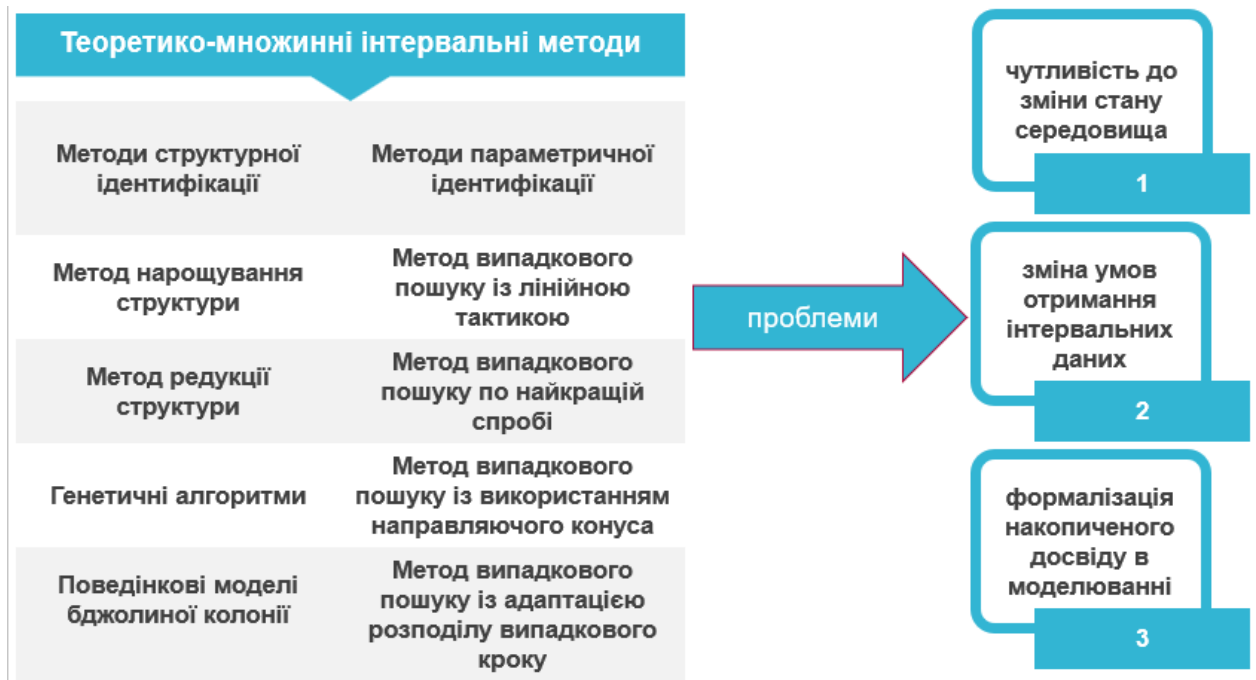


Рисунок 1.4 – Класифікація методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об’єктів

Як зазначалося вище, для розв’язування задачі структурної ідентифікації, спочатку необхідно визначити вектор базисних функцій, а на наступному кроці знайти оцінки параметрів. Для оцінювання параметрів одним із базових методів є інтервальна оцінка параметрів, оскільки він є найпростішим, виходячи з обчислювальної складності.

Метод редукції структури математичної моделі базується на формуванні початкової структури з подальшим вилученням незначущих елементів [224]. Для виявлення незначущих елементів структури використовують спеціальні критерії [230]. Для інтервального аналізу - оцінки параметрів можуть включати нульове значення, а вилучення незначущих структурних елементів моделі повинно призвести до зменшення значення функції мети. При використанні методу редукції математична модель є адекватною в якій ІСЛАР виявиться сумісною.

Основним недоліком методу редукції є те, що він не забезпечує знаходження єдиної структури і якщо неправильно задана початкова структура, то він не збігається.

Аналогічні недоліки є і у методі «нарощування» структури математичної моделі. Цей підхід ґрунтується на формуванні початкової структури моделі в простому вигляді, де елементи структури моделі задано у вигляді алгебраїчного рівняння не вище другого степеня. Далі структуру ускладнюють шляхом додавання нових елементів, проводячи параметричну ідентифікацію. Ускладнення структури повторюють до тих пір, поки інтервали оцінок не включатимуть нуль, а ІСЛАР буде сумісною. Значне ускладнення структури моделі разом із високою обчислювальною складністю є основними недоліками зазначеного підходу [55, 137, 138, 258].

Метод групового урахування аргументів (МГУА), започаткований українським вченим О.Г. Івахненко [10, 65, 76, 77, 78, 79, 80, 112, 190, 262, 263], належить до класу індуктивних методів, реалізованих на основі даних експерименту. В основу МГУА закладено генерація та багаторядна селекція моделей за допомогою визначених зовнішніх критеріїв у випадку структурної ідентифікації та основі внутрішніх критеріїв здійснюється налаштування параметрів.

Оскільки МГУА базується на мінімізації середньоквадратичного відхилення між експериментальними та прогнозованими даними, то він не забезпечує можливість побудови математичних моделей складних об'єктів з гарантованими прогностичними властивостями.

Генетичні алгоритми. Ці методи ґрунтуються на еволюційних принципах природного відбору, де популяція особин це моделі-претенденти. В задачах структурної ідентифікації інтервальної моделі з використанням генетичних алгоритмів: ген – структурний елемент; хромосома – поточна структура моделі- претендента; популяція – множина моделей-претендентів на визначеній ітерації алгоритму [2, 9, 27, 92, 107, 152, 189, 216, 264]. Висока обчислювальна складність є основним недоліком генетичних алгоритмів в задачах структурної ідентифікації.

Останні напрацювання при розв'язуванні задач структурної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів використовують

методи, які ґрунтуються на самоорганізації мультиагентних систем. Одним з найвідоміших методів у цій групі є метод на основі поведінкової моделі бджолоїної колонії [3, 8, 11, 16, 20, 22, 25, 28, 106, 116, 132, 173, 176, 178]. Розглянемо детальніше метод структурної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів на основі поведінкової моделі бджолоїної колонії.

1.3.3. Метод структурної ідентифікації інтервальних моделей на основі поведінкової моделі бджолоїної колонії

У розділі 1.3.1. представлено чотирьох етапну процедуру вирішення задачі параметричної ідентифікації. Проте на сьогоднішній день найбільш ефективними методами вирішення цієї оптимізаційної задачі є методи, засновані на поведінковій моделі бджолоїної колонії [3,8, 11, 16, 20, 22, 25, 28, 31, 32, 47, 49, 63, 64, 71, 74, 75, 82, 105, 106, 116, 132, 173, 176, 178, 192, 193, 202, 203, 212, 217, 218]. Обґрунтування цього факту наведено в роботах [88, 89, 90].

Для побудови методу параметричної ідентифікації використовуються принципи моделей поведінки бджолоїної колонії [178, 192, 193].

Фаза ініціалізації. Вектори, що визначають можливі точки мінімуму цільової функції (1.15), є векторами оцінок параметрів і позначаються \hat{g}_l . У контексті моделі поведінки бджолоїної колонії це означає, що кожному вектору координат джерела нектару відповідає одна l бджола, яка його досліджує. Встановимо, що чисельність усієї сукупності дорівнює значенню S , і визначимо межі оцінок параметра

$$\hat{g}_{jl} \in [g_{jl}^{low}; g_{jl}^{up}], j = 1, \dots, m, l = 1, \dots, S. \quad (1.22)$$

На цьому етапі використовується наступна формула:

$$\hat{g}_{jl} = g_{jl}^{low} + rand(0,1) * (g_{jl}^{up} - g_{jl}^{low}), j = 1, \dots, m, l = 1, \dots, S, \quad (1.23)$$

де $g_{jl}^{low}, g_{jl}^{up}$ – нижня та верхня межі значень параметрів на етапі ініціалізації.

Зверніть увагу, що на цьому етапі також налаштовуються всі параметри алгоритму [82-84].

Фаза робочих бджіл. У контексті задачі оптимізації фаза робочих бджіл означає пошук нових оцінок рішень з меншими значеннями цільової функції (1.22). Для обчислення можливих точок локального мінімуму цільової функції використовуються наступні формули:

$$\hat{g}_{jl}^{mcn} = \hat{g}_{jl} + \Phi_{jl} * (\hat{g}_{jl} - \hat{g}_{jp}), j = 1, \dots, m, p \neq l = 1, \dots, S. \quad (1.24)$$

Після обчислення координат можливих точок мінімуму $\vec{\hat{g}}_l^{mcn}$ проводиться попарне порівняння існуючих і поточних значень оцінок параметрів за цільовою функцією (1.22):

$$\hat{g}_l = \{\hat{g}_l, \text{if } \delta(\hat{g}_l) \leq \delta(\hat{g}_l^{mcn})\} \text{ або } \hat{g}_l = \{\hat{g}_l^{mcn}, \text{if } \delta(\hat{g}_l) > \delta(\hat{g}_l^{mcn})\} \quad (1.25)$$

Фаза бджіл дослідників. У контексті оптимізаційної задачі на цьому етапі визначено найбільш ймовірні точки (вектори значень параметрів), навколо яких необхідно провести детальне дослідження цільової функції. Саме ці точки претендують на забезпечення локальних мінімумів цільової функції. Для цих цілей використовується ймовірнісний підхід, а саме розраховуються ймовірності доцільності дослідження, кожна конкретна точка задається вектором значень параметрів із раніше знайдених. Вираз для обчислення зазначеної ймовірності має такий вигляд [230, 231]:

$$P_l = \frac{1 - \delta(\hat{g}_l)}{\sum_{l=1}^S (1 - \delta(\hat{g}_l))}. \quad (1.26)$$

Слід зазначити, що у разі значного відхилення значень цільової функції $\delta(\hat{g}_l)$, розрахованих для різних точок (векторів значень параметрів), необхідно переписати формулу (1.26) з урахуванням нормування значень функції. У цьому випадку формула набуває такого вигляду:

$$P_l = \frac{1}{\delta(\hat{g}_l) \sum_{i=1}^S 1/\delta(\hat{g}_i)}. \quad (1.27)$$

На основі розрахованих ймовірностей визначається кількість балів для дослідження можливих локальних мінімумів цільової функції із задачі (1.12). Але враховуючи, що значення m_l у цій формулі має бути цілим числом, оскільки воно визначає кількість точок в околі досліджуваної точки для знаходження мінімуму цільової функції, формулу перепишемо наступним чином:

$$m_l = \text{ToInt}(P_l \cdot S), l = 1, \dots, S, m_{l=1} = 0. \quad (1.28)$$

де $\text{ToInt}(\cdot)$ – оператор виділення цілої частини з числа.

На наступному кроці процедуру повторюють для визначення точок, де досягається найменше значення цільової функції. Щоб уникнути фокусування на локальних мінімумах цільової функції, використовується фаза бджіл-розвідників.

Фаза бджіл-розвідників. Це фаза, на якій випадковим чином знову обчислюються нові рішення задачі оптимізації. Для цього використовується формула (1.24). Як зазначалося вище, в контексті моделі поведінки бджолоїної колонії це показує закінчення поточних джерел нектару.

Для кожної ітерації обчислень необхідне отримання нової кількості балів на додаток до поточних. Наприкінці кожної ітерації на ньому є $2S$ бали – претенденти на дослідження. Тому в кінці ітерації виконується груповий відбір точок з найменшим значенням цільової функції $\delta(\hat{g}_l)$, щоб їх кількість

дорівнювала S . Дана процедура характеризується груповим відбором. Процедура завершується за умови $\delta(\hat{g}_l)=0$.

Враховуючи аналогію між математичною постановкою задач параметричної та структурної ідентифікації моделей об'єктів, розглянуто основні етапи методу структурної ідентифікації моделей складних об'єктів на основі моделей поведінки бджолоїної колонії.

Фаза ініціалізації. На цьому етапі задаються основні параметри методу: $LIMIT$; S ; $[I_{min}; I_{max}]$; $mcp = 0$ – номер поточної ітерації; MCN є загальна кількість ітерацій, а набір структурних елементів F , а також початковий набір Λ_0 (з потужністю S) структур λ_s із набору структурних елементів F формується випадковим чином.

Приклад кодування структурних елементів для деякої моделі складного об'єкта наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Кодування структурних елементів для моделі складних об'єктів

№	Структурні елементи
1	$f_1(\vec{V})$
2	$f_2(\vec{V})$
3	$f_3(\vec{V})$
...	...
$m-1$	$f_{m-1}(\vec{V})$
m	$f_m(\vec{V})$

Далі для формування структур розглянемо набір операторів. Зауважимо, що їх назви та призначення зберігаються за аналогією з відомим методом структурної ідентифікації, побудованим на АВС.

Фаза робочих бджіл. У фазі робочих бджіл використовується оператор $P(\Lambda_{mcp}, F)$, який перетворює структуру інтервальної моделі у вигляді (1.16). На визначеній ітерації в процесі реалізації даного методу цей оператор $P(\Lambda_{mcp}, F)$ формує на основі кожної з поточних структур λ_s математичної моделі одну «нову» структура λ'_s , яка наближена до поточної. Таким чином,

оператор $P(\Lambda_{mcsn}, F)$ перетворює набір Λ_{mcsn} поточних структур λ_s , згенерованих на $mcsn$ ітерації, на набір Λ'_{mcsn} структур λ'_s шляхом випадкової заміни частини елементів аналізованої структури λ_s , а також замінює на вибрані елементи з набору $F = \{f_1(\vec{V}), f_2(\vec{V}), \dots, f_m(\vec{V})\}$. При цьому набір n_s елементів діючої структури, які потребують заміни, обернено пропорційний значенню цільової функції $\delta(\lambda_s)$, яка розраховується за формулами (1.18) або (1.19).

Далі на цьому етапі за допомогою оператора $D_1(\lambda_s, \lambda'_s)$ виконується попарний вибір для вибору найкращої структури з двох: поточної та згенерованої. Використаємо формулу (1.29) для такого вибору:

$$D_1(\lambda_s, \lambda'_s): \lambda_s^1 = \begin{cases} \lambda_s, & \text{if } \delta(\lambda_s) \leq \delta(\lambda'_s); \\ \lambda', & \text{if } \delta(\lambda_s) > \delta(\lambda'_s). \end{cases} \quad (1.29)$$

Оператор $D_1(\lambda_s, \lambda'_s)$ реалізує процес синтезу множини «найкращих» структур Λ_{mcsn}^1 із поточних множин $\Lambda_{mcsn}, \Lambda_{mcsn}^1$. Таким чином, отримано набір структур першого ряду формування $\lambda_s^1 \in \Lambda_{mcsn}^1, s = 1 \dots S$.

Фаза бджіл дослідників. Як уже зазначалося, на цьому етапі визначається кількість R_s конструкцій. Він буде згенерований на основі кожної λ_s^1 структури з набору Λ_{mcsn}^1 . Цей показник R_s розраховується за формулами

$$P_s(\lambda_s^1) = \frac{1 - \delta(\lambda_s^1)}{\sum_{s=1}^S (1 - \delta(\lambda_s^1))}, s = 1 \dots S; \quad (1.30)$$

$$R_s = ToInt(P_s(\lambda_s^1) \cdot S), s = 1 \dots S. \quad (1.31)$$

Далі на цьому етапі також використовується оператор $P_\delta(\Lambda_{mcsn}, F)$, який перетворює поточну структуру в певну кількість R_s структур. У цьому випадку загальна кількість структур, які розподілені між аналізованими структурами,

дорівнює S . Звідси, $P_\delta(\Lambda_{mcsn}, F)$ означає перетворення кожної структури λ_s^1 з набору структур $\lambda_s^1 \in \Lambda_{mcsn}^1$ першої серії утворень, згенерованих ітерацією алгоритму $mcsn = 0$, на набір структур λ'_s , $s = 1 \dots S$.

Заміна елементів у кожній поточній структурі (або деяких структурах) здійснюється випадковим чином на основі розрахункового значення кількості n_s елементів у поточній структурі і обернено пропорційна значенню цільової функції $\delta(\lambda_s)$. Ця заміна також виконується на навмання вибраних елементах із множини $F = \{f_1(\vec{V}), f_2(\vec{V}), \dots, f_m(\vec{V})\}$.

Також на цій фазі здійснюється груповий вибір $D_2(\lambda_s^1, \lambda'_s)$ «найкращої» структури з поточної та λ_s^1 формується набір навколо неї за значеннями $\lambda'_s = \{\lambda_1 \dots \lambda_r \dots \lambda_{RS}\}$ цільової функції. Цей оператор вибору, на відміну від оператора вибору пари, $D_1(\lambda_s, \lambda'_s)$ має такий вигляд [36, 93, 160]:

$$D_1(\lambda_s^1, \Lambda'_s): \lambda_s^2 = \begin{cases} \lambda_s^1, \text{ if } (R_s = 0); \\ \lambda_s^1, \text{ if } ((\delta(\lambda_s^1) \leq \delta(\lambda_r)) \wedge (R_s \neq 0)), \forall \lambda_r \in \Lambda'_s,; \\ \lambda_r^s, \text{ if } ((\delta(\lambda_s^1) > \delta(\lambda_r)) \wedge (R_s \neq 0)), \exists \lambda_r \in \Lambda'_s. \end{cases} \quad (1.32)$$

Оператор (1.32) реалізує процес синтезу множини «найкращих» структур IDM Λ_{mcsn}^2 з поточних множин Λ_{mcsn}^1 і $\Lambda''_{mcsn} = \{\Lambda'_1 \cup \Lambda'_2 \dots \Lambda'_s \dots \cup \Lambda'_S\}$, $s = 1 \dots S$ в методі ранжування всіх структур за значеннями цільової функції (1.18) або (1.19) з подальшим відбором $s = 1 \dots S$ структур λ_s^2 за найбільше значення цільової функції задачі оптимізації (1.18), (1.19). Таким чином отримано набір структур інтервальних моделей другої серії формування Λ_{mcsn}^2 .

Вихід із локальних мінімумів цільової функції в задачі (1.18), (1.19) здійснюється на фазі бджіл-розвідників.

Для цього для кожної визначеної структури λ'_s вводимо $Limit_s$ лічильник, який щоразу збільшується на «1», якщо під час попарного або групового вибору поточна структура не «оновлюється», і скидається — в іншому випадку. Здійснивши порівняння отриманого значення лічильника з

деякою $LIMIT$ константою, заданою на етапі ініціалізації, дає змогу вирішити, чи поточна структура вичерпала себе. Якщо лічильник $Limit_S$ досягає значення $LIMIT$, більше не можна змінювати цю поточну структуру. Це означає, що функція (1.20) знаходиться в локальному мінімумі. Потім використовуємо оператор $P_N(F, I_{min}, I_{max})$, який випадковим чином генерує «нову» структуру λ_S^2 з набору F всіх структурних елементів випадковим чином, як на етапі ініціалізації, лише для однієї структури. Тому такі структури становитимуть лише кілька відсотків S (усіх робочих бджіл).

Процедура завершується за умови, що для деякої структури в задачі параметричної ідентифікації виконується умова: $\delta(\hat{g}_l) = 0$.

Основною проблемою використання цих методів є відсутність декларативного онтологічного опису, що не дозволяє розробляти програмні середовища як інструментальні засоби. З іншого боку, як видно з опису задачі структурної ідентифікації, основною задачею для її розв'язання є формування множини потенційних структурних елементів моделі $F = \{f_1(\vec{V}), f_2(\vec{V}), \dots, f_m(\vec{V})\}$ різницевого (дискретного) рівняння, яка являє собою математичну модель об'єкта. Цю задачу можна вирішити за допомогою онтологічного опису предметної області моделювання, тобто операційної онтології. Таким чином, рішення цих проблем дозволить зменшити складність процедури моделювання та отримати адекватні моделі з гарантованими прогностичними властивостями.

1.4. Знання-орієнтований підхід та його використання при побудові інтервальних математичних моделей

1.4.1. Знання-орієнтований підхід до розробки систем прийняття рішень

Знання-орієнтований підхід до розробки систем підтримки прийняття рішень надає спеціалізований досвід вирішення проблем, який зберігається у вигляді фактів, правил, процедур і пропонує або рекомендує дії менеджерам [108, 109, 110, 111, 194, 195].

Системи, які побудовані з використанням зазначеного підходу потребують взаємодії людини з комп'ютером. Розширені аналітичні інструменти, такі як інтелектуальний аналіз даних, можна інтегрувати для пошуку прихованих закономірностей. Знання-орієнтований підхід також закладений в основі методів інтелектуальної підтримки прийняття рішень і є аналогами сховища знань та стратегій управління. Знання-орієнтований підхід обрано тому, що він має здатність до самонавчання, визначення асоціацій між даними, і виконувати евристичні операції, якщо потрібно. Ці здібності перетворюють систему прийняття рішень, яка керована знаннями в інтелектуальну, збільшують пропускну здатність вирішення проблем і підвищення точності наданих знань. Важливо зазначити, що представлення знань є ключовим в таких системах. Чітко визначені представлення знань включають системи на основі правил, семантичних мереж, системи фреймів або онтології, а заснована на правилах система містить правила в базі даних [49].

Сховище знань можна розглядати як «сховище інформації», яке складається з компонентів знань, які визначаються найменший рівень, на якому знання можуть бути розкладені. Компоненти знань каталогізуються та зберігаються в сховищі знань для повторного використання у звітності, документації, використанні знань або запитів і повторного збирання, які виконуються та організовуються розробниками інструкцій або системними архітекторами. Ідея сховища знань схожа на ідею сховища даних. Як і в сховищі даних, сховище знань також надає відповіді на спеціальні запити, а знання в сховищі знань можуть зберігатися в кількох фізичних місцях [215].

Сховище знань є компонентом системи управління знаннями. Сховище знань також має такі логічні структури, як комп'ютерні програми та бази даних для зберігання знань, аналогічні системі таблиць, які реалізують дані зберігання в сховищі даних [35]. Основна мета знання-орієнтовного підходу - забезпечити користувача інтелектуальними аналітичними платформами, які вдосконалюють всі фази процесу управління знаннями [135]. Сховище знань

надає інфраструктуру, необхідну для захоплення, очищення, зберігання, організації, використання та поширення не лише даних та інформації, але і також знань [125].

Важливо зазначити, що представлення знань є ключовим в таких системах прийняття рішень, які орієнтовані на знання. Чітко визначені представлення знань включають системи на основі правил, семантичних мереж, системи фреймів або онтології, а заснована на правилах система містить правила в базі даних [125]. Проаналізуємо детальніше технології подання знань в інформаційних системах.

1.4.2. Технології подання знань та їх використання при побудові математичних моделей

В процесі реалізації знання-орієнтованого підходу в системах прийняття рішень, пошуку зручних, раціональних засобів інформаційного наповнення часто виникає проблема компактного, однозначного та достатньо повного подання знань. Під знаннями розуміється система понять і відношень які містять структуровану інформацію про властивості об'єктів, закономірності процесів і набір формалізованих правил використання цієї інформації в прийнятті рішень. Знання для певної предметної області можна умовно класифікувати на понятійні, процедурні, фактографічні, конструктивні та методологічні [49, 109, 120].

Понятійні знання – набір понять, які використовуються для розв'язання конкретної задачі, наприклад у фундаментальних науках і теоретичних областях наук. Конструктивні знання – набори структур, підсистем і взаємозв'язків між елементами. Процедурні знання – набори методів, процедур (алгоритмів) їх використання та ідентифікації. Фактографічні знання – кількісні та якісні характеристики об'єктів та явищ. Методологічні знання – це знання про методи перетворення дійсності, наукові знання про організацію

ефективної діяльності. В трактуванні В.С. Аванесова останній вид знань віднесено до знань найвищого рівня [120].

Представлення знань – це процес, метою якого є відображення семантичного змісту, значення у вигляді синтаксичних форм: фраз усної мови, письмових фраз, сторінок книг, понять довідника, об'єктів географічних карт тощо. На даний момент розроблено множину моделей подання знань, які зображено на рисунку 1.5.

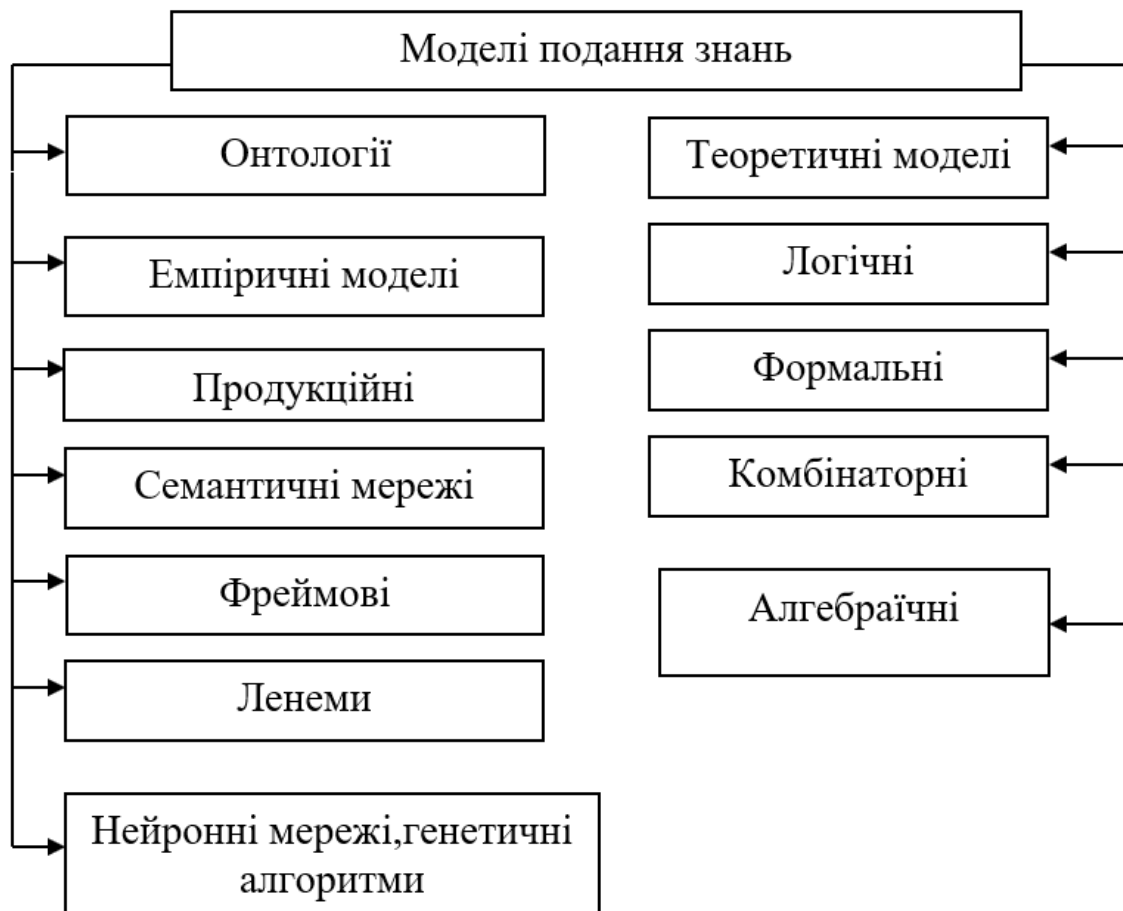


Рисунок 1.5 – Моделі подання знань [5]

Із множини наведених моделей проаналізуємо лише найвідоміші з них, тобто, продукційні, фреймові моделі, а також семантичні мережі [108, 109, 110, 111, 194, 195]. Продукційна модель ґрунтується на правилах, які дозволяють представити знання у вигляді відношень типу: «якщо умова, то дія». Вона є надто жорсткою конструкцією і тому при накопичені великої кількості

продукцій вони можуть суперечити одна одній.

В інженерії знань під семантичною мережею розуміється граф, який відображає зміст цілісного образу. Вузли графу відповідають поняттям і об'єктам, а дуги – відношенням між об'єктами. Недоліком такого підходу є громіздкість представлення можливих зв'язків в мережі. Фреймова модель будується на основі фреймів, тобто структур, призначених для представлення деякого концептуального об'єкта. Інформація фрейму міститься у його слотах. Слоти можуть бути термінальними або бути також фреймами, утворюючи ієрархічну мережу [111, 194].

Одним із засобів представлення формалізованих знань є реляційна модель даних. Принципи РМД були сформульовані в 1969-1970 роках Е. Ф. Коддом (EF Codd) [150]. Переваги реляційної моделі: простота, користувацька доступність, оскільки використовується єдина інформаційна конструкція - таблиця; проектувальні правила, основа яких закладена на математичному апараті; незалежність даних. Для внесення змін в прикладному програмному додатку зміни реляційної БД будуть мінімальними; для організації запитів та написання прикладного програмного забезпечення немає необхідності знати організацію бази даних у зовнішній пам'яті.

Основними недоліками реляційної моделі є: досить складно описати предметну область у вигляді набору "таблиць"; здійснивши логічне проектування сформується множина "таблиць". Такий підхід супроводжується труднощами розуміння структури даних, а база даних займає багато зовнішньої пам'яті; часто такі процеси супроводжуються низькою швидкістю доступу до самих даних [150]. Алгебра кортежів, яка використовується у реляційній моделі даних [100-103], подано в додатку А.

З множини моделей подання знань детальніше розглянемо онтології, оскільки їх використання при розробці систем підтримки прийняття рішень в рамках знання-орієнтованого підходу, які активно розвивається на даний час [108, 109, 110].

1.4.3. Онтології як засіб формалізації знань про предметну область та процес побудови математичних моделей

Онтологія являє собою спільну, узгоджену і детальну модель (або набір понять) певної предметної області [3, 8, 11, 74, 75, 82, 105, 106, 116, 132, 173]. Однією з основних переваг використання онтології є її здатність визначати семантичну модель об'єднаних даних в асоційоване знання. Онтології також можна використовувати для визначення зв'язку між різними типами семантичних знань. Таким чином, онтології можуть бути використані для формалізації як предметної області, так і самого процесу моделювання.

За останні кілька років багато реалізацій онтології і мови запитів було розроблено. Під час побудови системи на основі онтології спочатку потрібно прийняти рішення, який засіб побудови онтології слід використовувати в даному контексті. За останні кілька років було розроблено багато засобів для опису онтології. Більшість з них засновані на розширеній мові розмітки (XML) [133, 156, 167], що дозволяє їм бути машинно інтерпретованими [133, 156, 167]. Поширеними прикладами є Resource Description Framework (RDF) і RDF Schema [133], DARPA Agent Markup Language та Ontology Inference Layer (DAML + OIL) [156] і мова опису онтологій (OWL) [192, 193, 202] і OWL2 [202]. Для того, щоб використовувати онтологію для формулювання запитів, важливо оцінити їх у термінах їхньої представлення, інструментів і підтримки аргументації для того, щоб визначити, яка мова онтології найкраще підходить для цього завдання. Більшість сучасних засобів опису онтології впливають на правила опису та структуру ранжування на основі XML RDF/RDFS.

OWL був розроблений на основі RDF і DAML + OIL [133]. Онтології OWL1 залишаються дійсними засобами опису онтологій в стандарті OWL2 [156].

У таблиці 1.4. представлено порівняльний аналіз між RDF(s), OWL-1 і OWL-2, що показує можливі способи використання знань, щодо концепції

представлення для формулювання запитів до реляційної бази даних на основі онтології.

Порівняння між RDF(s), OWL-1 і OWL-2 показує можливі використання концепцій представлення знань для формулювання бази даних на основі онтології запитів. Підсумовуючи, як OWL, так і RDF мають багато спільних рис, але OWL є кращим засобом для машинної інтерпретації, ніж RDF. Крім того, приходить OWL з більшим словниковим запасом і сильнішим синтаксисом, ніж RDF, який може використовуватися для визначення обмежень концепції складної онтології та згодом сформулювати реляційну базу даних на основі відповідних запитів.

Таблиця 1.4. Порівняльний аналіз між RDF(s), OWL-1 і OWL-2 [133, 156, 167]

Концепти	RDF(s)	OWL-1	OWL-2
Формальна семантика	+	+	+
Еквівалентність	-	+	+
Визначення класів	-	+	+
Обмеження	-	+	+
Перерахування	-	+	+
Обмеження потужності	-	+	+
Висновки	-	+	+
Послідовні властивості	-	-	+
Непересічні властивості	-	-	+
Кваліфіковані обмеження потужності	-	-	+

Візуальні або інтерактивні системи формулювання запитів на основі онтології - це системи запитів до баз даних, які використовують візуальні представлення для експрес-запитів пов'язаних даних. Ці системи адаптують онтології для генерація запитів до бази даних для підвищення ефективності спілкування людини з комп'ютером. В останні роки було описано багато таких систем (наприклад, TAMBIS, GRQL, SEWASIE, Ontogator, OntoViews, OntoQF, VISAGE, Smartch, Semantic-based і багато інших [49, 63, 64, 71, 74, 75, 82, 105, 106, 116]).

У більшості систем візуального формулювання запитів на основі онтології пошукові запити виконуються за допомогою браузера, який візуалізує онтологію у вигляді дерева. Фактичний пошук виконується за допомогою вибору понять через візуальне дерево або за допомогою ключових слів, анотованих поняттями візуальної онтології. У таблиці 1.5. представлено порівняння між деякими з основних інструментів та підходів для формулювання запитів на основі онтології.

На даний момент існує кілька доступних інструментів та підходів, які можна використовувати для визначення відображень між схемою онтології та схемою бази даних (називається відображенням онтології в базу даних), наприклад D2R-MAP, розширений D2R, R2O, VisAVis, описані в [173, 176, 178, 192] та багато інших. Ці підходи базуються на припущенні що і база даних, і онтологія вже існують і створюють набір відповідних відображень між реляційною базою даних та схемою онтології. Ці підходи до візуалізації відрізняються від підходів трансформації, які спрямовані на генерацію моделі онтології з реляційної моделі (так звані перетворення бази даних в онтологію), як описано в [49, 63, 64, 71, 74, 75, 82, 105].

Більшість цих підходів забезпечують тривіальні перетворення, де кожна таблиця бази даних відображається на клас онтології, кожен стовпець на тип даних, кожен рядок до екземпляра та стовпці зовнішнього ключа використовуються, щоб зв'язати екземпляр класу з екземпляром іншого класу. На додачу до цих підходів, кілька перетворень бази даних в онтологію були розроблені в ряді інших інструментів.

Наприклад, DataGenie [133, 156, 167] - плагін для Protégé, який імпортує дані з реляційної бази даних в онтологію, D2RQ обробляє реляційні бази даних без RDF як віртуальні графи RDF, D2RMAP є базою даних для RDF мови, створюючи семантичні метадані з реляційної бази даних. RDB2ONT описує формальний алгоритм для використання метаданих реляційної бази даних плюс структурні обмеження для побудови онтології OWL, а в [133, 156,

167] представлено підхід до розробки онтології з реляційних баз даних з використанням зворотного проектування.

Таблиця 1.5. Порівняння інструментів/підходів формулювання запитів на основі онтології. [133, 156, 167]

Інструменти/ підходи	Підтримка семантичних запитів	Підтримка запитів за текстом	Підтримує мультимедійні бази даних	Підтримка різномірних джерел даних	Природно- мовні запити
CROEQS	+	+	+		
GRQL	+	+			
Ontogator	+	+	+		
OntoQF	+	+			
OntoViews	+	+	+		
Smartch	+	+			
SEWASIE	+	+		+	
TAMBIS	+	+			
TRANSFoRm	+	+		+	
VISAGE	+	+		+	
Ontology and Natural Language		+			+
OPTIQUE	+			+	
KIRA	+	+	+	+	
ATHENA	+	+			+
Using ontology SPARQL	+				
Protege	+	+	+		
Pay-As-You- Go Method	+			+	
Ontop	+			+	
Querying via OWL 2 QL	+				

Виходячи з проведеного аналізу, можна підсумувати, що онтології є потужним інструментом для формалізації знань та їх програмної інтерпретації в прикладних програмних середовищах. Це дуже важлива характеристика, яка і стала ключовою в процесі вибору засобів реалізації онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних.

1.5. Постановка проблеми дослідження

Математичне моделювання є одним із основних інструментів, що дозволяє описати об'єкт у простій формі, дослідити його та спрогнозувати поведінку. Математичне моделювання розуміється як процес побудови моделі та її застосування до певних прикладних задач [224, 230, 231].

Процеси математичного моделювання складаються з великої кількості процедур, які переважно реалізуються у відповідних інструментальних засобах, тобто у вигляді певних програмних систем [112, 231]. Прикладами таких програмних середовищ є Matlab, GNU Octave, Scilab, SageMath [231, 250]. Ці інструменти є багатофункціональними та добре розробленими. Однак практикам часто потрібно використовувати більш спеціалізовані інструменти для побудови математичних моделей, а також адаптувати існуючі інструменти до нестандартних умов, яких немає у зазначених середовищах. У цьому випадку виникають труднощі у використанні та інтерпретації таких засобів, оскільки процедури моделювання приховані від дослідника, а це ускладнює їх використання шляхом внесення змін у програмне забезпечення [75, 176, 250].

У цьому випадку найбільш прийнятним рішенням є використання знання-орієнтованого підходу з використанням онтологічного опису для певних методів математичного моделювання. Він детально описує компоненти процесу побудови моделі та її застосування. Потім цей онтологічний опис використовується для створення відповідного програмного забезпечення. Такий підхід, з одного боку, дозволить інтегрувати створене програмне забезпечення в різні прикладні системи, а з іншого – вносити зміни в існуюче програмне забезпечення [250].

Наявність онтологічних описів процесів моделювання на основі окремих методів дозволяє уніфікувати використання програмного забезпечення для широкого кола завдань. На основі досвіду це дозволяє створювати репозиторій математичних моделей, які можна використовувати для моделювання широкого діапазону математично подібних властивостей [231].

Позитивним ефектом такого підходу буде суттєве спрощення процесу створення засобів як для організації процесів моделювання, так і для їх застосування до прикладних задач.

Одним із напрямів математичного моделювання є індуктивний підхід, який базується на самоорганізованому процесі еволюційного переходу від експериментальних даних до побудови математичних моделей, які відображають закономірності функціонування імітованих об'єктів і систем, які закладені в експериментальних дослідженнях [76-81, 262, 263].

Важливою особливістю реалізації індуктивного підходу є характер невизначеності в інформаційних масивах даних (імовірнісна, інтервальна, нечітка), оскільки цей підхід базується на методах аналізу даних. У ряді робіт [151, 154, 155] онтологічний підхід до побудови математичних моделей в рамках індуктивного підходу базується на МГУА. У рамках запропонованого підходу визначено ключові параметри для основних компонентів процесу моделювання, які визначають можливість узагальнення та доцільність побудови багатофункціональних програмних модулів при розробці комп'ютерних засобів індуктивного моделювання на основі МГУА [65, 78, 190]. Оскільки згаданий підхід має складну структуру, яка інтерпретується за допомогою Protege [151, 154, 155] і не містить прикладних програмно-інтерпретованих рішень, його практичне використання в інших підходах до математичного моделювання є недоцільним. Застосування такого підходу займає багато часу для формалізації предметної області та через складність її представлення в системі Protege та не сприятиме підтримці серед розробників відповідних прикладних програмних рішень [31, 133, 151, 154, 203].

Іншим напрямком математичного моделювання за індуктивним підходом є методи математичного моделювання на основі інтервальних даних [224, 230, 231]. Особливістю цих методів є множинні оцінки параметрів моделі «вхід-вихід», які будуються за результатами проведеного експерименту, в якому вихідні змінні отримані в інтервальному представленні [36, 39, 224, 230, 231, 252].

Як результат застосування методів на основі інтервального аналізу замість однієї моделі «вхід-вихід» виникає коридор (набір) еквівалентних інтервальних моделей системи. Властивості розглянутих моделей залежать від методу оцінювання наборів параметрів. Переважно набори оцінок параметрів можуть бути представлені у формі багатогранника, багатовимірного еліпсоїда або прямокутного паралелепіпеда, що задає інтервали значень параметрів [224, 230].

Враховуючи те, що методи моделювання систем, засновані на аналізі інтервальних даних, потребують мінімальної інформації про досліджувану систему, їх застосування значно розширює клас досліджуваних систем, зокрема медицини та екології [231].

Однак ці методи обмежені для використання як дослідниками, так і користувачами-практиками через відсутність розробленого онтологічного опису для даного напрямку математичного моделювання, який би дав змогу розширити сферу застосування існуючих інтервальних моделей для конкретної предметної області та для розробки нових моделей. Прикладом у цьому випадку є галузь побудови математичних моделей для медицини [231] або екологічного моніторингу, зокрема опис математичних моделей на основі інтервальних даних для процесів забруднення повітря шкідливими викидами автотранспорту [231]. У разі зміни стану навколишнього середовища або умов отримання інтервальних даних більшість побудованих інтервальних моделей втрачають точність або стають неадекватними. Застосування онтологічної надбудови до процесу розробки та використання моделей значно розширює можливості моделювання характеристик цих систем і підвищує точність моделі в конкретних випадках. Простіше кажучи, онтологічна модель як «надбудова» може використовувати функції «перемикача» для вибору найкращої моделі з репозиторію залежно від змін у середовищі моделювання.

Потреба в автоматизованих, систематичних і багаторазово використовуваних математичних моделях як середовища для отримання,

накопичення і повторного використання знань цілком виправдана в контексті великого обсягу інформації про знання, які генерується і зберігається.

Також розроблені математичні та комп'ютерні моделі відзначаються високою обчислювальною складністю, яка необхідна для забезпечення адекватності та достатньої точності для прийняття рішень.

Проблема складності також пов'язана із необхідністю розширення сфери застосування макромоделей у певній предметній області, при збереженні її прогностичних властивостей. З іншого боку, спираючись на гіпотезу про те, що онтологічний опис предметної області моделювання дає можливість формалізувати та розширити умови використання інтервальної моделі, то необхідно розробити гібридні методи налаштування структури моделі та параметрів з метою підвищення її прогностичних властивостей.

Проведений аналіз дозволяє сформулювати наукову проблему (рисунок 1.6) - зниження обчислювальної складності структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів з одночасним забезпеченням гарантованої точності цих моделей в межах, необхідних для розв'язування задач прийняття рішень та дослідження властивостей цих об'єктів.



Рисунок 1.6 – Схема постановки проблеми дослідження

Це породжує мету дисертаційного дослідження - зниження обчислювальної складності процесів моделювання характеристик складних об'єктів в умовах інтервальної невизначеності у спосіб розробки та поєднання методів аналізу інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваного об'єкта так і області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології.

Для досягнення мети дослідження необхідно розв'язати наступні завдання:

- провести аналіз відомих методів ідентифікації моделей характеристик об'єктів в умовах невизначеності та підходів до реалізації онтологічного опису їх застосування до задач структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей;
- розробити концепцію та метод ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів на основі поєднання методів аналізу інтервальних даних та знання-орієнтованого підходу із використанням онтології;
- розробити метод верифікації інтервальних моделей на основі метрики оцінки актуальності інформації та методу фільтрування даних та побудувати інтервальну дискретну модель динаміки реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж;
- удосконалити метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів з метою зниження його складності;
- розробити програмний комплекс для інтервального моделювання з відкритою програмною архітектурою та репозиторій для побудови інтервальних моделей характеристик складних об'єктів;
- провести апробацію нових й удосконалених методів та розробленого програмного комплексу для розв'язування прикладних задач побудови моделей характеристик складних об'єктів в умовах інтервальної невизначеності.

Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз систем прийняття рішень, які використовуються для підвищення ефективності функціонування складних об'єктів. Зокрема виділено клас систем прийняття рішень, які орієнтовані на дані, моделі та знання.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що СПР, які найбільше підходять для підтримки прийняття рішень в різних предметних областях, зокрема медицині та екології, а особливо враховуючи умови невизначеності процесів в даних предметних областях – СПР, що керуються даними, моделями та знаннями. Невід'ємною компонентою зазначених типів СПР є математичні моделі, а виходячи із специфіки досліджуваних в роботі предметних областей, саме застосування математичного моделювання дозволить отримувати необхідні управлінські рішення, виходячи із складності об'єкта.

2. Здійснено аналіз підходів до математичного моделювання складних об'єктів, зокрема дедуктивного та індуктивного. Встановлено, що для досліджуваних складних об'єктів, переважно експериментальні дані формуються з вимірювальних пристроїв, що мають визначені похибки вимірювань. Для врахування невизначеності в експериментальних даних необхідно використовувати методи, які ґрунтуються на інтервальному аналізі даних.

3. Проаналізовано недоліки відомих методів та структурної ідентифікації інтервальних різницевих операторів, в умовах забезпечення точності моделі із відповідним врахуванням точності експериментальних даних. Встановлено, що при розв'язуванні задач структурної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів використовують методи, які ґрунтуються на самоорганізації мультиагентних систем, де одним з найчастіше використовуваних методів є метод на основі поведінковій моделі бджолоїної колонії.

Основною проблемою використання цих методів є відсутність знання-орієнтованого підходу з відповідним декларативним онтологічним описом, що не дозволяє розробляти програмні середовища як інструментальні засоби. Встановлено, що задачі структурної ідентифікації, основною задачею для її розв'язання є формування множини потенційних структурних елементів моделі різницевого (дискретного) рівняння, яка являє собою математичну модель об'єкта. Цю задачу можна вирішити за допомогою онтологічного опису предметної області моделювання, тобто операційної онтології. Таким чином, рішення цих проблем дозволить зменшити складність процедури моделювання та отримати адекватні моделі з гарантованими прогностичними властивостями.

4. Відзначено переваги використання знання-орієнтованого підходу до розробки систем прийняття рішень. В рамках цього підходу визначено, що онтології є потужним інструментом для формалізації знань та їх програмної інтерпретації в прикладних програмних середовищах. Це дуже важлива характеристика, яка і стала ключовою в процесі вибору засобів реалізації онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних.

5. На основі проведеного аналізу встановлено, що актуальною є науково-прикладна проблема зниження обчислювальної складності структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів з одночасним забезпеченням гарантованої точності цих моделей в межах, необхідних для розв'язування задач прийняття рішень та дослідження властивостей цих об'єктів.

РОЗДІЛ 2.
УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД СТРУКТУРНОЇ
ІДЕНТИФІКАЦІЇ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДИСКРЕТНИХ
МОДЕЛЕЙ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ АДАПТИВНИМ
НАЛАШТУВАННЯМ ВИБОРУ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У попередньому розділі проведено аналіз методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів на основі поведінкових моделей бджолоїної колонії. Зокрема, одною із основних обчислювальних проблем реалізації зазначеного методу є формування початкової множини структурних елементів моделей-претендентів та вибір конкретних структурних елементів при формуванні нових моделей-претендентів. Саме ця процедура суттєвим чином ускладнює відому обчислювальну схему методу. Розглядаючи різні можливості спрощення цієї процедури, у випадку повноти множини структурних елементів, пропонується в процесі реалізації обчислювальної схеми синтезу структур моделей-претендентів враховувати історію «успішного» вибору тих чи інших структурних елементів. Тут під «успішним» вибором структурного елемента вважатимемо випадок, коли додавання певного структурного елемента чи заміна іншого елемента на цей призводить до покращення прогностичних властивостей (точності) моделі-претендента в сенсі використання показника $\delta(\lambda_s)$ у критерії якості оптимізаційної задачі.

Саме такий підхід використано у цьому розділі для удосконалення методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів на основі поведінкових моделей бджолоїної колонії в якому на основі ймовірнісного підходу удосконалено процедури вибору структурних елементів для формування моделей-претендентів. У підсумку реалізація цього методу дає можливість знизити обчислювальну складність структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів.

На початку цього розділу розширено сформульовано задачу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів та розглянуто проаналізовано метод її розв'язування на основі ПМБК. Далі, наведено теоретичні основи удосконалення існуючого методу та нову обчислювальну схему його реалізації.

У завершальній частині розділу проведено дослідження ефективності наведеного методу.

Основні результати цього розділу опубліковано автором у працях [41, 43, 44, 46, 48, 50, 55-59, 148, 225, 227, 231, 252, 253].

2.1. Теоретико–логічні підстави методу структурної ідентифікації.

Спочатку проведемо детальний аналіз обчислювальних процедур методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів.

Як було зазначено у першому розділі, задача структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів породжена отриманням інтервальних даних у формі [36, 39, 50, 55, 224, 225, 230, 231, 252]:

$$[z_{i,j,h,k}^-; z_{i,j,h,k}^+], i = 0, \dots, I, j = 0, \dots, J, h = 0, \dots, H, k = 0, \dots, K, \quad (2.1)$$

де $[z_{i,j,h,k}^-; z_{i,j,h,k}^+]$ – нижня та верхня межі експериментально отриманої характеристики об'єкта в точці з дискретними координатами $i = 0, \dots, I, j = 0, \dots, J, h = 0, \dots, H$ та у дискретні моменти часу $k = 0, \dots, K$.

Математичну модель характеристики об'єкта у загальному вигляді розглядаємо, як дискретну модель у такому вигляді:

$$v_{i,j,h,k} = \vec{f}^T(v_{i-d,j-d,h-d,k-d}, v_{i-d+1,j-d,h-d,k-d}, \dots, v_{j-d+1,d,d,d}, \dots, v_{i-1,j-1,h-1,k-1}, \dots, v_{i,j,h-1,k}) \cdot \vec{g}, i = d, \dots, I, j = d, \dots, J, h = d, \dots, H, k = d, \dots, K \quad (2.2)$$

де $v_{i,j,h,k}$ - означає прогнозоване чи модельоване значення вимірної характеристики об'єкта в точці з дискретними координатами $i = d, \dots, I, j = d, \dots, J, h = d, \dots, H$, тобто поза точками вимірювань та у дискретні моменти часу $k = d, \dots, K$, тобто в дискретні моменти часу поза дискретами, у яких проводилися вимірювання; d – порядок різницевої схеми (2.2); \vec{g} – вектор параметрів моделі, значення яких необхідно оцінити на основі інтервальних даних; \vec{f}^T - вектор базисних функцій, які перетворюють значення модельованої характеристики для попередніх точок та дискретних моментів часу, тобто для кожної базисної функції матимемо у виразі (2.2) для перетворення, в загальному вигляді, такий вектор:

$$\vec{V} = (v_{i-d,j-d,h-d,k-d}, v_{i-d+1,j-d,h-d,k-d}, \dots, v_{j-d+1,d,d,d}, \dots, v_{i-1,j-1,h-1,k-1}, \dots, v_{i,j,h-1,k})^T \quad (2.3)$$

Критерієм достатньої точності математичної моделі (2.2) за таких умов є:

$$[\hat{v}_{i,j,h,k}^-; \hat{v}_{i,j,h,k}^+] \subset [z_{i,j,h,k}^-; z_{i,j,h,k}^+] \forall i = 0, \dots, I, \forall j = 0, \dots, J, \\ \forall h = 0, \dots, H, \forall k = 0, \dots, K \quad (2.4)$$

де $[\hat{v}_{i,j,h,k}^-; \hat{v}_{i,j,h,k}^+]$ - є числовим інтервалом модельованої характеристики об'єкта.

Як зазначалося, структура моделі є набір взаємопов'язаних компонент

$$\lambda_s = \{f_1^s(\vec{V}) \cdot g_1^s; f_2^s(\vec{V}) \cdot g_2^s; \dots; f_{m_s}^s(\vec{V}) \cdot g_{m_s}^s\} \quad (2.5),$$

а їх адитивна згортка:

$$Q(\lambda_s) = f_1^s(\vec{V}) \cdot g_1^s + f_2^s(\vec{V}) \cdot g_2^s + \dots + f_{m_s}^s(\vec{V}) \cdot g_{m_s}^s \quad (2.6)$$

є дискретною моделлю об'єкта. У виразі (2.5), s – означає певний набір структурних елементів.

Оскільки для обчислень за різницевою схемою (2.2) необхідно задати початкові умови

$$\begin{aligned} [\hat{v}_{0,0,0,0}^-; \hat{v}_{0,0,0,0}^+] &\subseteq [z_{0,0,0,0}^-; z_{0,0,0,0}^+], \dots, [\hat{v}_{1,d-1,1,0}^-; \hat{v}_{1,d-1,1,0}^+] \subseteq [z_{1,d-1,1,0}^-; z_{1,d-1,1,0}^+], \dots, \\ [\hat{v}_{d-1,d-1,d-1,d-1}^-; \hat{v}_{d-1,d-1,d-1,d-1}^+] &\subseteq [z_{d-1,d-1,d-1,d-1}^-; z_{d-1,d-1,d-1,d-1}^+]. \end{aligned} \quad (2.7)$$

для усіх моделей претендентів, то беручи до уваги ще і умови для точності моделі (2.4) і різні їх структури, то усі моделі- претенденти матимуть такий вигляд :

$$[\hat{v}_{i,j,h,k}(\lambda_s, \vec{V})] = [f_1^s(\vec{V})] \cdot \hat{g}_1^s + [f_2^s(\vec{V})] \cdot \hat{g}_2^s + \dots + [f_{m_s}^s(\vec{V})] \cdot \hat{g}_{m_s}^s, \quad (2.8)$$

а для їх ідентифікації отримуємо ІСНАР

$$\left\{ \begin{aligned} &[\hat{v}_{0,0,0,0}^-; \hat{v}_{0,0,0,0}^+] \subseteq [z_{0,0,0,0}^-; z_{0,0,0,0}^+], \dots, \\ &[\hat{v}_{d-1,d-1,d-1,d-1}^-; \hat{v}_{d-1,d-1,d-1,d-1}^+] \subseteq [z_{d-1,d-1,d-1,d-1}^-; z_{d-1,d-1,d-1,d-1}^+]; \\ &z_{i,j,h,k}^- \leq [f_1^s(\vec{V})] \cdot \hat{g}_1^s + [f_2^s(\vec{V})] \cdot \hat{g}_2^s + \dots + [f_{m_s}^s(\vec{V})] \cdot \hat{g}_{m_s}^s \leq z_{i,j,h,k}^+; \\ &i = d, \dots, I, j = d, \dots, J, h = d, \dots, H, k = d, \dots, K. \end{aligned} \right. \quad (2.9)$$

У виразі (2.8) $f_i^s(\vec{V}) = f_i^s([\hat{v}_{i-d,j-d,h-d,k-d}, \dots, \hat{v}_{i,j-d,h,k}, \dots, \hat{v}_{i,j,h-1,k}], \vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k})$,

а $[\vec{V}] = [\hat{v}_{i-d,j-d,h-d,k-d}, \dots, \hat{v}_{i,j-d,h,k}, \dots, \hat{v}_{i,j,h-1,k}]$ - інтервальний вектор з компонентами, які означають інтервальні оцінки модельованої характеристики. При чому, на початкових дискретах ці інтервали є вимірними, а в подальшому їх обчислюємо на основі інтервальної різницевої

схеми у вигляді (2.8). Математичний вираз у вигляді (2.8) називаємо інтервальною дискретною моделлю об'єкта, яку налаштовуємо на основі спостережень за модельованою характеристикою об'єкта.

Якщо у ІСНАР (2.9) зафіксувати структуру моделі, тобто поточний вектор базисних функцій, то з її розв'язку можемо отримати невідомі оцінки \hat{g}^s параметрів моделі. Враховуючи високу обчислювальну складність розв'язування цієї системи (комбінаторну), на практиці, обчислюють тільки точкові оцінки параметрів \hat{g}^s . При цьому процес оцінювання трансформують до розв'язання такої оптимізаційної задачі [49, 252, 253]:

$$\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) \xrightarrow{\lambda_s = \{f_1^s([\vec{V}]) \cdot g_{l1}^s, f_2^s([\vec{V}]) \cdot g_{l2}^s, \dots, f_{m_s}^s([\vec{V}]) \cdot g_{lm_s}^s\}} \min, \quad (2.10)$$

$$(m_s \in [I_{\min}; I_{\max}], f_1^s([\vec{V}]), f_2^s([\vec{V}]), \dots, f_{m_s}^s([\vec{V}]) \in F,$$

$$\hat{g}_{jl}^s \in [g_{jl}^{low}; g_{jl}^{up}], j = 1, \dots, m, l = 1, \dots, S \quad (2.11)$$

де $m_s \in [I_{\min}; I_{\max}]$ – величина, яка характеризує елементів s -ї структури моделі; $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ – множина розглянутих елементів структури інтервальної моделі; $g_{li}^{low}, g_{li}^{up}$ – нижнє та верхнє можливе значення кожного параметра моделі.

У виразі (2.10), показник якості $\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)$ – критеріальна функція, формується із ІСНАР (2.9) у спосіб, описаний у першому розділі і має такий вигляд

$$\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) = \max_{i=d, \dots, I, j=d, \dots, J, h=d, \dots, H, k=d, \dots, K} \left\{ \begin{aligned} &mid(f_1^s([\vec{V}]) \cdot \hat{g}_{l1}^s + f_2^s([\vec{V}]) \cdot \hat{g}_{l2}^s + \dots \\ &+ f_m^s([\vec{V}]) \cdot \hat{g}_{lm}^s) - mid([z_{i,j,h,k}]) \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

якщо $[\hat{v}_{i,j,h,k}] \cap [z_{i,j,h,k}] = \emptyset, \exists i = d, \dots, I, \exists j = d, \dots, J, \exists h = d, \dots, H, \exists k = d, \dots, K,$

або:

$$\begin{aligned} \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) = & \max_{i=d, \dots, I, j=d, \dots, J, h=d, \dots, H, k=d, \dots, K} \{wid(f_1^s([\vec{V}]) \cdot \hat{g}_{l1}^s + f_2^s([\vec{V}]) \cdot \hat{g}_{l2}^s + \dots \\ & + f_m^s([\vec{V}]) \cdot \hat{g}_{lm}^s) - mid(f_1^s([\vec{V}]) \cdot \hat{g}_{l1}^s + \\ & + f_2^s([\vec{V}]) \cdot \hat{g}_{l2}^s + \dots + f_m^s([\vec{V}]) \cdot \hat{g}_{lm}^s) \cap [z_{i,j,h,k}]\} \end{aligned} \quad (2.13)$$

якщо $[\hat{v}_{i,j,h,k}] \cap [z_{i,j,h,k}] \neq \emptyset, \forall i = d, \dots, I, \forall j = d, \dots, J, \forall h = d, \dots, H, \forall k = d, \dots, K,$

де $mid(\bullet), wid(\bullet)$ - є операціями визначення центру інтервалу та його ширини, відповідно.

Отже, як бачимо, критеріальна функція $\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)$ оптимізаційної задачі (2.10), (2.11) є дискретною і достатньо складною. Її значення можливо обчислити тільки алгоритмічно. Це суттєво ускладнює задачу структурної ідентифікації. Більше того, успішність отримання розв'язку цієї задачі залежить від повноти формування множини структурних елементів $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$.

Також кількість обчислень значень цієї функції в оптимізаційній процедурі (2.10), (2.11) визначає її часову обчислювальну складність. Зважаючи на ці факти, у багаточисленних працях запропоновано використати методи випадкового пошуку розв'язку цієї оптимізаційної задачі на основі ПМБК [41, 43, 44, 46, 48, 50, 55-59, 148, 225, 227, 231, 252, 253]. Спочатку розглянемо детально цю обчислювальну схему, а потім проаналізуємо її проблемні місця. Отже, процес розв'язування оптимізаційної задачі (2.10), (2.11) складається з чотирьох фаз, які імітують поведінку колонії медоносних бджіл при пошуку найкращих джерел нектару.

Фаза ініціалізації.

Основним процесом даної фази є ініціалізація основних параметрів методу: $LIMIT; S; [I_{\min}; I_{\max}]; mcn = 0$ – поточний ітераційний номер; MCN –

визначена кількість ітерацій та відповідна визначена множина структурних елементів F , а також на основі рівномірного закону розподілу ймовірностей формуємо початкову множину Λ_0 (з потужністю S) структур λ_s із множини елементів F .

Фаза робочих бджіл.

Множину структурних елементів $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ пронумеруємо за допомогою десяткових чисел для забезпечення зручності опернування і подамо у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Кодування структурних елементів

№	Структурний елемент
1	$f_1([\vec{V}])$
...	...
m	$f_m([\vec{V}])$

В такому разі, кожен структурний елемент із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ кодується десятковим кодом, який наведено в таблиці 2.1. Тоді, кожен структуру λ_s при організації обчислень та формуванні структур замінюємо набором десяткових чисел $\{N_1, N_2, \dots, N_{ms}\}$.

В основі алгоритмів маніпуляції структурами ІДМ на підставі ПМБК є ряд операторів. Ці оператори реалізують чітко окреслені процедури ПМБК, але над структурами ІДМ, на відміну від класичних АБК.

Фаза робочих бджіл в ПМБК, в методі структурної ідентифікації ІДМ, означає перетворення поточних структур в нові. При цьому оператор $O_\delta(\Lambda_{mci}, F)$, здійснює перетворення структури ІДМ у вигляді (2.8), на підставі правил ПМБК, пов'язаних із процедурами дослідження робочими бджолами околу відомого джерела нектару. По суті методу структурної ідентифікації, на поточній ітерації реалізації, оператор $O_\delta(\Lambda_{mci}, F)$ на основі кожної з структур λ_s ІДМ будує одну «нову» структуру λ'_s , що близька до поточної в сенсі

співпадіння більшості їх структурних елементів.

Отже, оператор $O_\delta(\Lambda_{mcp}, F)$ здійснює перетворення кожного елементу множини Λ_{mcp} поточних структур λ_s , на mcp ітерації у сформовану множину Λ'_{mcp} обраних структур λ'_s . Нові структури λ'_s для кожної поточної формуємо випадковим вибором елементів із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ та заміни частини елементів, також обраних випадково у поточній структурі λ_s . При цьому, у кожному випадку використовуємо рівномірний закон розподілу ймовірності вибору елементів. З метою визначення кількості елементів у поточній структурі в ряді праць [55-59, 252, 253] запропоновано увести змінну n_s , значення якої задає кількість елементів поточної структури λ_s ІДМ, які потрібно замінити іншими структурними елементами. При цьому приймається така гіпотеза: «значення n_s пропорційно залежне від значення критеріальної функції $\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)$ для фіксованої структури».

Отже, чим більше значення критеріальної функції $\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)$ при фіксованій структурі ІДМ, тим більше елементів цієї структури необхідно замінити. Іншу умову, яку необхідно урахувати при обчисленні значення змінної n_s , це можлива загальна кількість елементів у поточній структурі, яка переважно є різною, але знаходиться в межах інтервалу $m_s \in [I_{\min}; I_{\max}]$. Спираючись на ці припущення та обмеження, отримаємо один із можливих виразів для обчислення значення n_s :

$$n_s = \begin{cases} \text{int} \left(\left(1 - \frac{\min \{ \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) | s = 1 \dots S \}}{\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)} \right) \cdot m_s \right), \\ \text{if } \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) \neq \min \{ \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) | s = 1 \dots S \} \text{ and } n_s \neq 0; \\ 1, \text{ if } \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) = \min \{ \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) | s = 1 \dots S \} \text{ or } n_s = 0. \end{cases} \quad (2.14)$$

де m_s - загальна кількість елементів у поточній структурі.

Детальніше обґрунтування формули (2.14), наведено у праці [231]. Зазначена фаза завершується попарною селекцією з метою вибору з поточної та згенерованої структур кращої. Для цього використовуємо оператор попарної селекції із пари структур λ_s, λ'_s :

$$D_1(\lambda_s, \lambda'_s): \lambda_s^1 = \begin{cases} \lambda_s, \text{ якщо } \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) \leq \delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s) \\ \lambda'_s, \text{ якщо } \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) > \delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s) \end{cases} \quad (2.15)$$

Оператором $D_1(\lambda_s, \lambda'_s)$ обираємо «кращі» структури попарним порівнянням із поточних множин Λ_{mcs} , Λ'_{mcs} і на основі цього формуємо множину структур першого ряду $\lambda_s^1 \in \Lambda_{mcs}^1$, $s = 1 \dots S$.

Фаза бджіл дослідників.

В ПМБК є процес, коли бджоли-дослідники за ймовірністю обирають нові джерела нектару. В задачі структурної ідентифікації це означає, що необхідно згенерувати певну кількість нових структур на основі існуючої множини відібраних структур, сформованої на попередній фазі. Формування нових структур в «околі» існуючих λ_s^1 означає внесення незначних змін в набір структурних елементів кожної із поточних структур. Для виконання цієї процедури спочатку необхідно для кожної структури λ_s^1 з Λ_{mcs}^1 визначити кількість R_s структур, які будуть згенеровані на її основі. Зазначений показник R_s у контексті поведінкової моделі бджолиної колонії визначає кількість бджіл-дослідників, які обрали відоме джерело-нектару. Характеристикою розміщення джерела нектару (його координатами) в даному випадку є поточна структура λ_s^1 .

Для обчислення кількості R_s ймовірних структур, сформованих на основі поточної, приймаємо припущення: кількість бджіл-дослідників про які

повідомила робоча бджола, прямо пропорційно залежить від його якості.

Отже цей показник має ймовірнісний характер і ґрунтується на визначенні для поточного джерела нектару ймовірності того, що сформована група бджіл-дослідників зупиниться саме на околі s -того джерела нектару.

Таким чином, для обчислення ймовірної кількості новосформованих структур ІДМ на основі поточної структури спочатку для кожної структури обчислюємо цю ймовірність $P_s(\lambda_s^1)$ на підставі якості кожної із поточних структур, яка як відомо є значенням критеріальної функції $\delta(\lambda_s^1, \hat{g}_l^s)$ оптимізаційної задачі (2.10), (2.11):

$$P_s(\lambda_s^1) = \frac{1}{\delta(\lambda_s^1, \hat{g}_l^s) \cdot \sum_{s=1}^S \frac{1}{\delta(\lambda_s^1, \hat{g}_l^s)}}, s = 1 \dots S - 1. \quad (2.16)$$

Тоді, на підставі цієї ймовірності, обчислюємо ймовірні значення кількості «нових» сформованих наборів структур моделей, які формуються на основі відомої структури λ_s^1 за наступним співвідношенням:

$$R_s = \text{ToInt}(P_{s-1}(\lambda_{s-1}^1) \cdot S), \quad s = 2 \dots S, \quad R_1 = 0. \quad (2.17)$$

Далі на цій фазі використовуємо оператор $O_\delta(\Lambda_{mcn}, F)$, який здійснює перетворення кожної структури відповідно до процедури в ПМБК «дослідження околу відомого джерела нектару бджолами-дослідниками». Тільки на відміну від фази бджіл розвідників, де формувалася в околі поточної одна структура, в даному випадку визначення кількості структур навколо поточної здійснюється за допомогою виразу (2.17) на основі ймовірності, обчисленої за виразом (2.16).

Отже, можемо стверджувати, що оператор $O_\delta(\Lambda_{mcn}, F)$ подібний до

оператора $O_\delta(\Lambda_{mcs}, F)$ і означає перетворення кожної структури λ_s^1 з $\lambda_s^1 \in \Lambda_{mcs}^1$ першого ряду формування, які згенеровані на mcs ітерації методу, у множини структур Λ'_s (де $s = 1 \dots S$). Його подібність полягає в тому, що як і у випадку застосування оператора $O(\Lambda_{mcs}, F)$ на фазі робочих бджіл ПМБК, на цій фазі нові R_s структур λ'_s для кожної поточної формуємо випадковим вибором елементів із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ та заміни частини елементів у поточній структурі λ_s^1 також обраних випадково. При цьому, у кожному випадку використовуємо рівномірний закон розподілу ймовірності вибору елементів, а кількість n_s елементів у поточній структурі які необхідно замінити визначаємо за формулою (2.14), враховуючи якість $\delta(\lambda_s^1, \hat{g}_i^s)$ кожної із поточних структур.

На завершальному етапі цієї фази проводимо групову (на відміну від випадку фази робочих бджіл, де проводили попарну селекцію) селекцію «кращої» структури із поточної λ_s^1 та сформованої в її околі множини $\Lambda'_s = \{ \lambda_1, \dots, \lambda_r, \dots, \lambda_{R_s} \}$. При цьому спираємося на обчислені значення критеріальної функції задачі (2.10), (2.11). З цією метою використовуємо оператор групової селекції $D_2(\lambda_s^1, \Lambda'_s)$, який здійснює процес синтезу множини «кращих» структур інтервальної моделі Λ_{mcs}^2 із визначених множин Λ_{mcs}^1 та Λ''_{mcs} за допомогою селекції структур λ_s^2 на основі показників якості, де $\Lambda''_{mcs} = \{ \Lambda'_1 \cup \Lambda'_2 \dots \cup \dots \Lambda'_s \dots \cup \Lambda'_S \}$, $s = 1 \dots S$. Цей оператор, виконує процедури порівняння якості структур за аналогією оператора $D_1(\lambda_s, \lambda'_s)$ (2.15), але на відміну від останнього, обирає по одній структурі із кожної групи, сформованої для кожної із поточних структур.

Таким чином, в результаті застосування цього оператора отримуємо для другого ряду формування Λ_{mcs}^2 множини структур ІДМ і при цьому кількість обраних структур завжди залишається рівною S .

З метою уникнення зациклень при попаданні в локальний мінімум критеріальної функції мети оптимізаційної задачі (2.10), (2.11) використовуємо процедури ПМБК на фазі бджіл розвідників.

Зазначена фаза ПМБК необхідна для обрання нових джерел нектару внаслідок вичерпання поточних джерел нектару. В методі структурної ідентифікації ця фаза реалізується у спосіб формування нових структур випадковим чином. При цьому усі елементи структури обираються випадково із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$, точно так як на фазі ініціалізації.

Саме для цього для кожної поточної структури λ_s на фазі ініціалізації і на наступних фазах формування нових структур вводимо лічильник $Limit_s$, зміна значення якого в ПМБК моделює процес зменшення кількості нектару згідно із процедурою знаходження вичерпаних джерел нектару.

Таким чином, для розв'язування виходу із локальних мінімумів критеріальної функції оптимізаційної задачі (2.10), (2.11), значення лічильника $Limit_s$ збільшуємо на «1» кожен раз, якщо для попарної чи погрупової селекції визначена структура не «оновилася», та обнуляємо - для інших випадків. Як вже зазначалося, збільшення значення лічильника $Limit_s$ моделює процес вичерпування джерела нектару.

При цьому константа $LIMIT$, значення якої встановлюємо як один із ініціалізованих параметрів методу перед його використанням, слугує для побудови критерію вичерпаності джерела нектару в ПМБК, тобто в контексті розв'язування задачі (2.10), (2.11) це означає відмову від подальшої модифікації цієї структури. Отже, кожна структура λ_s^2 моделі, для якої виконується умова $Limit_s \geq LIMIT$, вважатиметься локальним мінімумом.

Генерування нових структур у такому випадку здійснюємо оператором $P_N(F, I_{\min}, I_{\max})$, який генерує «нову» структуру λ_s^2 випадковим чином з множини F всіх елементів структури, де їх кількість визначається також

випадково, вибором відповідного числа з інтервалу $m_s \in [I_{\min}; I_{\max}]$. Варто зазначити, що у всіх випадках використовуємо рівномірний закон розподілу при виборі нових елементів. У «класичній» реалізації цього методу кількість згенерованих структур на цій фазі є кілька відсотків від конкретного значення S усіх поточних структур (усіх робочих бджіл).

У деяких реалізаціях цього методу для задач оптимізації також використовують динамічний розподіл кількості бджіл різних типів на різних фазах [230, 231, 252, 253].

Перейдемо тепер до аналізу проблемних місць в реалізації вище розглянутого методу.

Як бачимо із вище наведеного опису, на фазі ініціалізації формуємо множину структурних елементів F , а на інших фазах здійснюємо вибір цих елементів для формування структур ІДМ. При цьому, на кожній фазі структури ІДМ формуємо випадково, або заміну структурних елементів здійснюємо також випадково, виходячи з умов задачі. За основу випадкового вибору елементів структури з множини F покладено рівномірний закон розподілу. Це означає, що будь-який елемент структури рівноймовірно може бути обраний для формування структури як на початкових фазах так і на наступних фазах. Ці процедури є ключовими з точки зору часової складності реалізації методу, оскільки якість сформованих структур безпосередньо залежить від «успішності» обрання того чи іншого елемента із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$. З іншого боку, набір структурних елементів різницевої схеми (2.8) визначається властивостями модельованого об'єкта і множина $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ структурних елементів, з яких синтезується ця різницева схема, повинна вміщувати характерні елементи, які будуть включені до кінцевої моделі об'єкта.

Спираючись на ці факти, можемо висловити гіпотезу: «про необхідність встановлення пріоритетності обрання структурних елементів із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ для формування оптимальної, в сенсі задачі

(2.10), (2.11), структури ІДМ (2.8), що у підсумку забезпечить зниження обчислювальної складності методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. Скоріше всього, що ця пріоритетність буде залежати від історії «успішності» вибору того чи іншого елемента множини структурних елементів на попередніх ітераціях.

Таким чином, вище викладені міркування, на відміну від відомого методу, вимагають адаптивного налаштування процедур вибору структурних елементів із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ при формуванні нових структур.

2.2. Метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів

Основне завдання при реалізації методу на основі висловленого припущення «про необхідність встановлення пріоритетності обрання структурних елементів із множини на основі їх історії «успішності» вибору», полягає у визначенні та формальному представленні історії «успішності» вибору [252].

Варто зазначити, що «успішність» вибору елементів структури апіорі має ймовірнісну природу. Отже для опису цих процедур вибору у відомому методі використаємо ймовірнісний підхід.

Нехай, маємо повну множину структурних елементів $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ для реалізації вищеописаного методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів на основі ПМБК. Повнота сформованої множини означає, що їй належать елементи, які будуть складати оптимальну, в сенсі задачі (2.10), (2.11), структуру ІДМ.

Поставимо у відповідність кожному структурному елементу $f_i([\vec{V}]) \in F$ ймовірність його вибору $P_i(f_i([\vec{V}])) = P_i$ із усієї множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$. Як було зазначено вище, ймовірність вибору будь-якого елемента без наявної історії вибору є однаковою для усіх елементів, тобто:

$$P_1 = P_2 = \dots = P_i = \dots = P_m = \frac{1}{m} \quad (2.18)$$

Як можемо бачити з вищеописаного методу структурної ідентифікації, історія успішності вибору структурних елементів відслідковується на двох фазах ПМБК. Спочатку на фазі робочих бджіл, коли оператором $O(\Lambda_{mcn}, F)$ здійснюємо перетворення структури ІДМ у вигляді (2.8), відповідно до процедур ПМБК. А саме процедури «дослідження та аналізу околу знайденого джерела нектару бджолами» у спосіб заміни випадковим чином певної кількості елементів поточної структури, такою ж кількістю елементів із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$.

Також історія успішності вибору фіксується на фазі бджіл дослідників. У цьому випадку, оператором $O_\delta(\Lambda_{mcn}, F)$ перетворюємо структури відповідно до процедури ПМБК «дослідження та аналізу околу знайденого джерела нектару бджолами-дослідниками», аналогічно до процесів на фазі робочих бджіл у спосіб заміни певної кількості структурних елементів. Тільки на відміну від фази робочих бджіл ПМБК, на якій формувалася одна структура в околі поточної, у випадку цієї фази, кількість структур навколо поточної визначається виразами (2.16), (2.17). В обох випадках кількість елементів n_s для заміни у кожній структурі ІДМ визначається формулою (2.14).

Якщо заміна відповідних елементів виявилася успішною, тобто, коли значення критеріальної функції $\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)$ оптимізаційної задачі (2.10), (2.11),

зменшується, то кожному із цих обраних із $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ n_s -елементів $f_i([\vec{V}])$ підвищуємо ймовірність вибору в майбутньому, на підставі частотного методу обчислення ймовірності, а саме [252]:

$$P_i = \begin{cases} P_i + \frac{1}{m \cdot n_s} \cdot \Pi\left(\frac{\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)}{\delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s)}\right), \text{ якщо: } \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) > \delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s) \wedge (P_i < \frac{1}{m_s}) \\ P_i, \text{ якщо } \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) \leq \delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s) \vee (P_i \geq \frac{1}{m_s}) \end{cases}, \quad (2.19)$$

де λ_s, λ'_s - означає поточну та новозгенеровану структури, відповідно; символи \wedge, \vee -означають операції кон'юнкції та диз'юнкції, відповідно;

$\Pi\left(\frac{\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)}{\delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s)}\right) \in [1, 2]$ - значення функції «премії» за успішність вибору даного

елемента структури.

При цьому, у випадку обчислення ймовірності P_i за формулою

$$P_i = P_i + \frac{1}{m \cdot n_s} \cdot \Pi\left(\frac{\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)}{\delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s)}\right), \text{ якщо: } \delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s) > \delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s) \wedge (P_i < \frac{1}{m_s}), \quad (2.20)$$

тобто у випадку успішності вибору n_s елементів з множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$, проводимо перерахунок ймовірності вибору для усіх інших структурних елементів, які не використовувалися для новозгенерованої структури λ'_s . З цією метою використовуємо таку формулу:

$$P_j = P_j - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_s} \left(\frac{1}{m \cdot n_s} \cdot \Pi\left(\frac{\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)}{\delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s)}\right) \right)}{m - n_s} \right), \quad j \neq i \quad (2.21)$$

Тепер перейдемо до обґрунтування запропонованих виразів.

У виразі (2.19) множник $\frac{1}{m \cdot n_s}$ означає збільшення поточного значення

ймовірності вибору елемента структури із урахуванням частоти його успішного, в сенсі оптимізаційної задачі (2.10), (2.11), включення в структуру ІДМ (2.8). Оскільки таких елементів може бути n_s під час виконання обчислювальної процедури на фазі робочих бджіл чи фазі бджіл дослідників, тому цей внесок у підвищення ймовірності вибору елементів, розподіляється між усіма n_s елементами. Далі, у цій же формулі, множник $\Pi\left(\frac{\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)}{\delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s)}\right)$ є

значенням функції «премії», який визначає наскільки успішним в сенсі розв'язування оптимізаційної задачі (2.10), (2.11) на даній ітерації було включення цього елемента у новосформовану структуру ІДМ (2.8). Тобто, чим менше значення критеріальної функції оптимізаційної задачі (2.10), (2.11) забезпечує новосформована структура моделі, тим більше значення цього множника за успішність вибору елемента чи декількох елементів структури. Верхню межу обмеження на значення цього множника обираємо емпірично.

Варто зазначити, що залежність $\Pi\left(\frac{\delta(\lambda_s, \hat{g}_l^s)}{\delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s)}\right)$ вимагає окремого дослідження з метою встановлення найбільш прийнятної з точки зору зменшення обчислювальної складності усього методу.

Обмеження у вигляді $P_i < \frac{1}{m_s}$ у формулі (2.19) необхідне, щоб уникнути

зациклювання обчислювальних процедур на основі ПМБК на виборі окремих елементів. З іншого боку, при формуванні поточної структури ІДМ (2.8) приймаємо гіпотезу, що усі m_s елементи цієї структури мають однаковий внесок у її якість. Принаймні встановити чи надати перевагу певним елементам практично складно. Тому вважатимемо, що у поточній структурі їх внесок є однаковим. З цих міркувань обрано максимальну ймовірність $\frac{1}{m_s}$.

Формулу (2.21) отримуємо із міркувань, що сума ймовірностей вибору усіх елементів із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ дорівнює 1.

Спираючись на вище наведені міркування та на опис основних процедур у методі структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який наведено у пункті 2.1, отримаємо нову модифікацію цього методу із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів. При цьому сконцентруємося тільки на описі відмінностей. Наведені міркування щодо адаптивного налаштування процедур вибору структурних елементів при формуванні нових моделей претендентів стосуються тільки двох фаз ПМБК: фази робочих бджіл та фази бджіл-дослідників, а також фази ініціалізації. Тому розглянемо процедури тільки для цих фаз.

Отже, на фазі ініціалізації додатково до вищеописаних дій, встановлюємо для кожного елемента множини структурних елементів $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ ймовірність вибору будь-якого елемента на основі формули (2.18).

Далі, на фазі робочих бджіл в процесі виконання оператора $O_\delta(\Lambda_{mcs}, F)$, який здійснює перетворення структури ІДМ (2.8) у спосіб заміни n_s структурних елементів, випадковим чином обраних із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_m([\vec{V}]) \}$ ураховуємо ймовірності вибору $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_m$ для кожного елемента і таким чином формуємо нові структури для кожної поточної. У випадку зменшення значення критеріальної функції $\delta(\lambda'_s, \hat{g}_i^s)$ задачі (2.10), (2.11) для новосформованої структури λ' , для обраних n_s -елементів $f_i([\vec{V}])$ із множини F обчислюємо значення ймовірності P_i за формулою (2.20).

Після цього, за формулою (2.21) перераховуємо значення ймовірностей $P_j, j \neq i$ для решти $m - n_s$ елементів із набору F . Усі решта обчислювальних операцій на цій фазі залишаються незмінними.

Таким чином отримаємо множину нових структур і для кожного елемента множини структурних елементів новий розподіл ймовірностей вибору з урахуванням історії успішності їх використання.

Подібні зміни щодо обчислень вносимо також на фазі бджіл дослідників ПМБК.

Кожен раз, коли використовуємо оператор $O_\delta(\Lambda_{mcs}, F)$, який використовується для перетворення структури відповідно до алгоритму ПМБК - дослідження околу відомого джерела нектару бджолами-дослідниками, у спосіб випадкової заміни n_s структурних елементів (подібно як на фазі робочих бджіл), обраних із множини F , також ураховуємо при випадковому виборі поточні ймовірності $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_m$ для кожного елемента і таким чином формуємо нові структури λ'_s для кожної поточної λ_s . Коли, цей вибір елементів успішний, тобто забезпечує зменшення значення критеріальної функції $\delta(\lambda'_s, \hat{g}_l^s)$ задачі (2.10), (2.11) для новосформованої структури λ'_s , то для цих n_s - елементів f_i ($[\vec{V}]$) із множини F обчислюємо значення ймовірності P_i за формулою (2.20).

Тоді також обчислюємо нові значення ймовірностей P_j , $j \neq i$ за формулою (2.21) для решти $m - n_s$ елементів із набору F . Решта обчислювальних операцій на цій фазі залишаються незмінними.

Таким чином, наведені зміни в обчисленнях на кожній із зазначених фаз ПМБК дають можливість адаптивно налаштувати процедури вибору структурних елементів для ІДМ, виходячи із обчислення на кожній ітерації ймовірностей вибору $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_m$ для кожного елемента. Такий підхід встановлює пріоритетність для вибору одних структурних елементів над іншими.

Для ілюстрації функціонування запропонованої схеми, розглянемо приклад. Нехай для структурної ідентифікації сформовано множину структурних елементів із 10 елементів $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_{10}([\vec{V}]) \}$.

Тоді, для кожного елемента на фазі ініціалізації ймовірності вибору:

$$P_1 = P_2 = \dots = P_i = \dots = P_{10} = 0,1 .$$

Припустимо, що кількість згенерованих структур на фазі ініціалізації $S = 5$, кожна з яких має по 4 елементи. Також припустимо, що на фазі робочих бджіл ПМБК було сформовано нових 5 структур у спосіб випадкової заміни одного ($n_s = 1$) із елементів у кожній структурі. Нехай, у результаті обчислення значення критеріальної функції задачі (2.10), (2.11) маємо такий результат:

для випадково вибраного елемента $f_2 ([\vec{V}]) - \delta(\lambda'_{s=1}, \hat{g}_l^{s=1}) < \delta(\lambda_{s=1}, \hat{g}_l^{s=1})$ та

$$\frac{\delta(\lambda_{s=1}, \hat{g}_l^{s=1})}{\delta(\lambda'_{s=1}, \hat{g}_l^{s=1})} = 1,2, \quad \Pi\left(\frac{\delta(\lambda_{s=1}, \hat{g}_l^{s=1})}{\delta(\lambda'_{s=1}, \hat{g}_l^{s=1})}\right) = 1,2;$$

для випадково вибраного елемента $f_1 ([\vec{V}]) - \delta(\lambda'_{s=2}, \hat{g}_l^{s=2}) > \delta(\lambda_{s=2}, \hat{g}_l^{s=2})$;

$$f_4 ([\vec{V}]) - \delta(\lambda'_{s=3}, \hat{g}_l^{s=3}) < \delta(\lambda_{s=3}, \hat{g}_l^{s=3}) \quad \text{та} \quad \frac{\delta(\lambda_{s=3}, \hat{g}_l^{s=3})}{\delta(\lambda'_{s=3}, \hat{g}_l^{s=3})} = 1,1, \quad \Pi\left(\frac{\delta(\lambda_{s=3}, \hat{g}_l^{s=3})}{\delta(\lambda'_{s=3}, \hat{g}_l^{s=3})}\right) = 1,1;$$

для випадково вибраного елемента $f_5 ([\vec{V}]) - \delta(\lambda'_{s=4}, \hat{g}_l^{s=4}) > \delta(\lambda_{s=4}, \hat{g}_l^{s=4})$;

для випадково вибраного елемента $f_2 ([\vec{V}]) - \delta(\lambda'_{s=5}, \hat{g}_l^{s=5}) < \delta(\lambda_{s=5}, \hat{g}_l^{s=5})$ та

$$\frac{\delta(\lambda_{s=5}, \hat{g}_l^{s=5})}{\delta(\lambda'_{s=5}, \hat{g}_l^{s=5})} = 1,1, \quad \Pi\left(\frac{\delta(\lambda_{s=5}, \hat{g}_l^{s=5})}{\delta(\lambda'_{s=5}, \hat{g}_l^{s=5})}\right) = 1,1.$$

Тоді в результаті формування нових структур на даній фазі робочих бджіл послідовно використаємо формули (2.19) та (2.21), відповідно, і отримаємо такі розподіли.

Після формування першої структури ($s=1$): $P_2 = 0,1 + 0,1 \cdot 1,2 = 0,22$, ймовірності для решти елементів $P_1 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = P_7 = P_8 = P_9 = P_{10} = P_j$

$$P_j = 0,1 - \frac{0,12}{10-1} = 0,0867 .$$

Після формування другої структури $s = 2$ – розподіл не змінюється.

Після формування третьої структури ($s = 3$) : $P_4 = 0,0867 + 0,1 \cdot 1,1 = 0,1967$, ймовірності для решти елементів $P_2 = 0,22 - \frac{0,11}{9} = 0,20778$, $P_1 = P_3 = P_5 = P_6 = P_7 = P_8 = P_9 = P_{10} = 0,0867 - \frac{0,11}{9} = 0,0745$.

Після формування четвертої структури ($s = 4$) – розподіл не змінюється. Після формування п'ятої структури ($s = 5$): $P_2 = 0,20778 + 0,11 = 0,31778$, $P_4 = 0,1967 - \frac{0,11}{9} = 0,1845$, ймовірності для решти елементів $P_1 = P_3 = P_5 = P_6 = P_7 = P_8 = P_9 = P_{10} = 0,0745 - \frac{0,11}{9} = 0,06228$.

Таким чином, в результаті проведених обчислень на фазі робочих бджіл початковий рівномірний розподіл ймовірностей вибору елементів із множини $F = \{ f_1([\vec{V}]), f_2([\vec{V}]), \dots, f_{10}([\vec{V}]) \}$ для подальшого формування структур змінюється і набуває вигляду: $P_1 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = P_7 = P_8 = P_9 = P_{10} = 0,06228$ $P_2 = 0,31778$, $P_4 = 0,1845$.

Ефективність запропонованого методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів дослідимо на конкретних прикладах побудови ІДМ.

2.3. Алгоритм реалізації методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів

Реалізація методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів наведена на рисунках 2.1-2.4 у вигляді блок-схеми, яка описує узагальнену обчислювальну послідовність перетворень структур.

Наведена схема відображає обчислювальні процеси задачі структурної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів. Перейдемо до детальшого розгляду обчислювальних процесів.

Алгоритм бджолоїної колонії складається з чотирьох фаз, які імітують поведінку колонії медоносних бджіл. Перший етап - це фаза ініціалізації. Іншими словами це перший крок для початку роботи з конкретними структурами моделей. Для реалізації цього кроку необхідно сформулювати початкову множину структурних елементів Λ_0 (з потужністю S) для всіх структур λ_s із набору елементів F . Тому для початку роботи алгоритму необхідно задати основні параметри методу: $LIMIT, [I_{\min}, I_{\max}], F, S$. Реалізація даної частини алгоритму представлена на рисунку 2.1, та описує фазу ініціалізації.

Реалізуємо це наступним чином, де спочатку генеруємо випадкове число I на проміжку $[I_{\min}, I_{\max}]$ (блок 3 на рисунку 2.1), яке буде означати кількість елементів в поточній структурі S_i . На наступному кроці встановлюємо ймовірність вибору елемента на основі формули 2.18 (блок 5 на рисунку 2.1). Наступним кроком є генерування випадкового числа в діапазоні від 1 до m (блок 6 на рисунку 2.1), де m - кількість доступних елементів в множині F з використанням імовірностей вибору. На наступному кроці вибираємо випадкове число з врахуванням ймовірностей (блок 8 на рисунку 2.1) та додаємо відповідний елемент який представлений числом m до структури (блок 9 на рисунку 2.1).

Таким чином генеруємо поточну структуру S_i з кількістю елементів I (блоки 4-10 на рисунку 2.1). Здійснюючи дану процедуру необхідно врахувати момент коли число m вже було згенероване, то повертаємось на етап генерації повторно (блок 7 на рисунку 2.1), оскільки цей структурний елемент вже вибраний. В такий спосіб генеруємо інші структури S (блоки 2-11 на рисунку 2.1) з яких складається множина Λ_0 (блок 12 на рисунку 2.1).

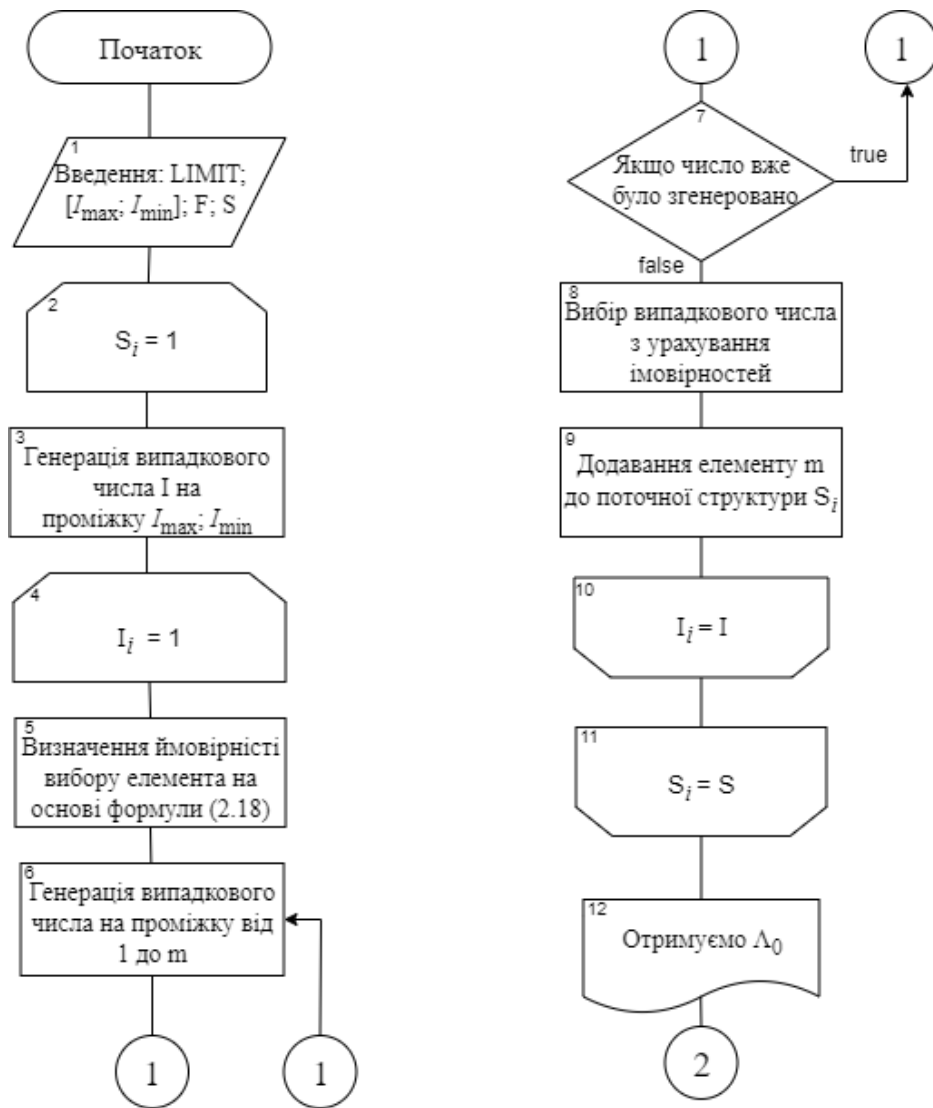


Рисунок 2.1 – Фрагмент блок-схеми алгоритму реалізації методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей, який описує фазу ініціалізації

Реалізація наступної частини алгоритму представлена на рисунку 2.2 та описує фазу робочих бджіл. Початком роботи цього етапу є обчислення якості набору структур на основі формули 2.10 (блок 13 на рисунку 2.2) та ранжування цього набору відповідно до показника якості (блок 14 на рисунку 2.2).

Далі на цьому етапі реалізації методу формуємо подібні структури, тобто на основі кожної з структур λ_s множини Λ_0 формуємо по одній «новій»

структурі λ'_s (блоки 15-28 на рисунку 2.2) подібним чином, як ми це робили на фазі ініціалізації (блоки 17-24 на рисунку 2.2).

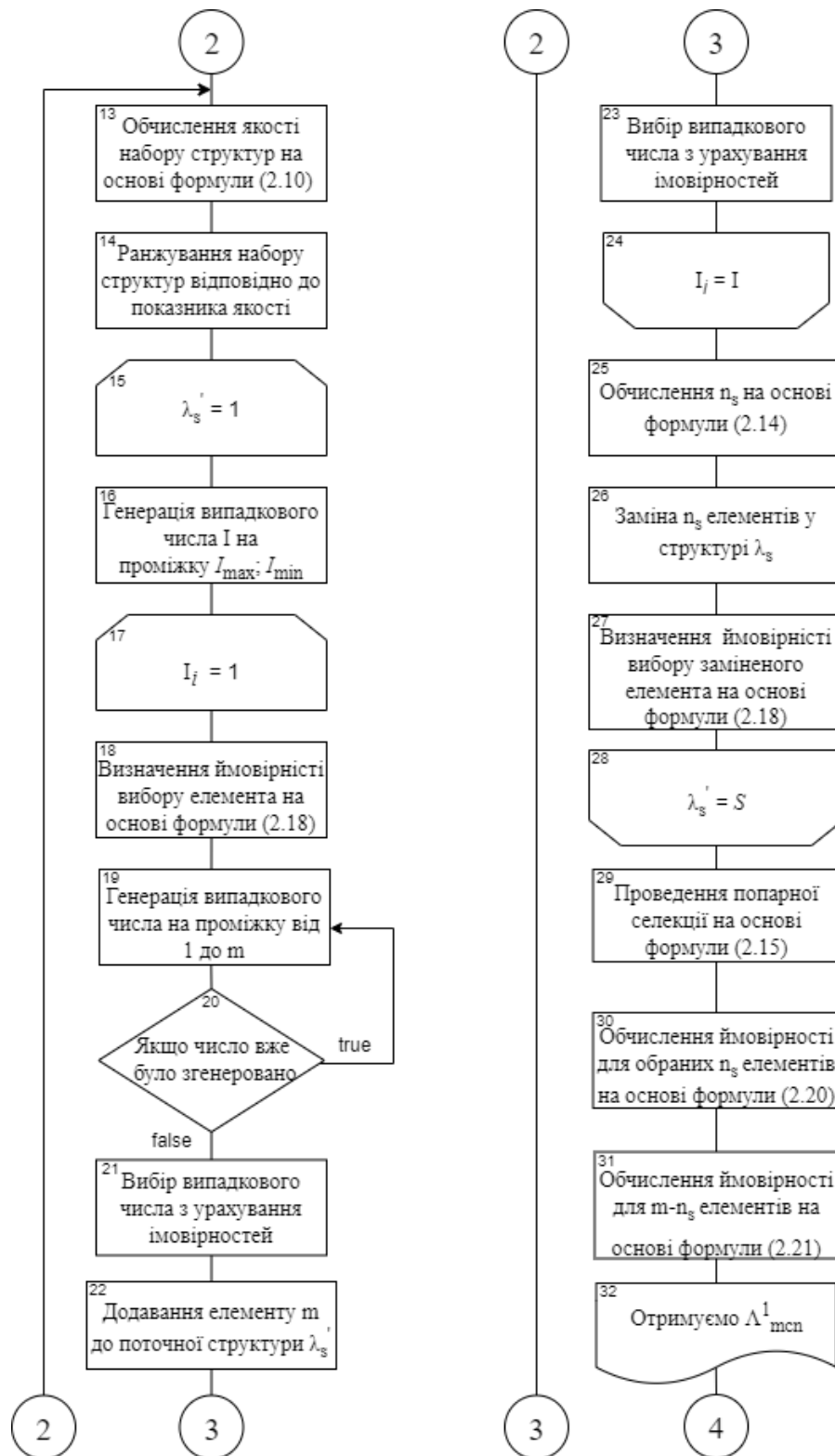


Рисунок 2.2 – Фрагмент блок-схеми алгоритму реалізації методу структурної ідентифікації ІДМ, який описує фазу робочих бджіл

Після цього обрахуємо n_s - кількість елементів які будуть замінені в поточній структурі λ_s . Для реалізації даної процедури використовуємо формулу 2.14 (блок 25-26 на рисунку 2.2).

Наступним кроком буде визначення ймовірності заміненого елемента на основі формули 2.18. в поточній структурі λ'_s (блок 27 на рисунку 2.2). Після визначення ймовірності проводимо попарну селекцію на основі формули 2.15 (блок 29 на рисунку 2.2) після чого перераховуємо ймовірності для вибраних n_s за формулою 2.20 (блок 30 на рисунку 2.2) та для $m - n_s$ елементів за формулою 2.21 (блок 31 на рисунку 2.2). Таким чином отримуємо набір структур Λ_{mcs}^1 (блок 32 на рисунку 2.2).

Реалізація наступної частини алгоритму представлена на рисунку 2.3 та описує фазу бджіл дослідників.

На початковому кроці цього етапу розраховуємо ймовірність зміни структури навколо поточної за формулою 2.16 (блок 34 на рисунку 2.3). Після цього визначаємо R_s - кількість структур, яку потрібно згенерувати для поточної за формулою 2.17 (блок 35 на рисунку 2.3).

Наступним кроком є формування R_s структур навколо поточної із заміною елементів аналогічно до процедури, яка використовувалася на попередній фазі (блоки 33-48 на рисунку 2.3).

На наступному кроці здійснюємо проведення попарної селекції на основі оператора $D_2(\lambda_s^1, \lambda'_s)$ (дана процедура описується блоком 49 на рисунку 2.3).

На наступному кроці здійснюємо перерахунок ймовірності для обраних n_s елементів за формулою 2.20 (блок 50 на рисунку 2.3) та для $m - n_s$ елементів за формулою 2.21 (дана процедура описується блоком блоком 51 на рисунку 2.3). Таким чином отримуємо набір структур Λ_{mcs}^2 (блок 52 на рисунку 2.3).

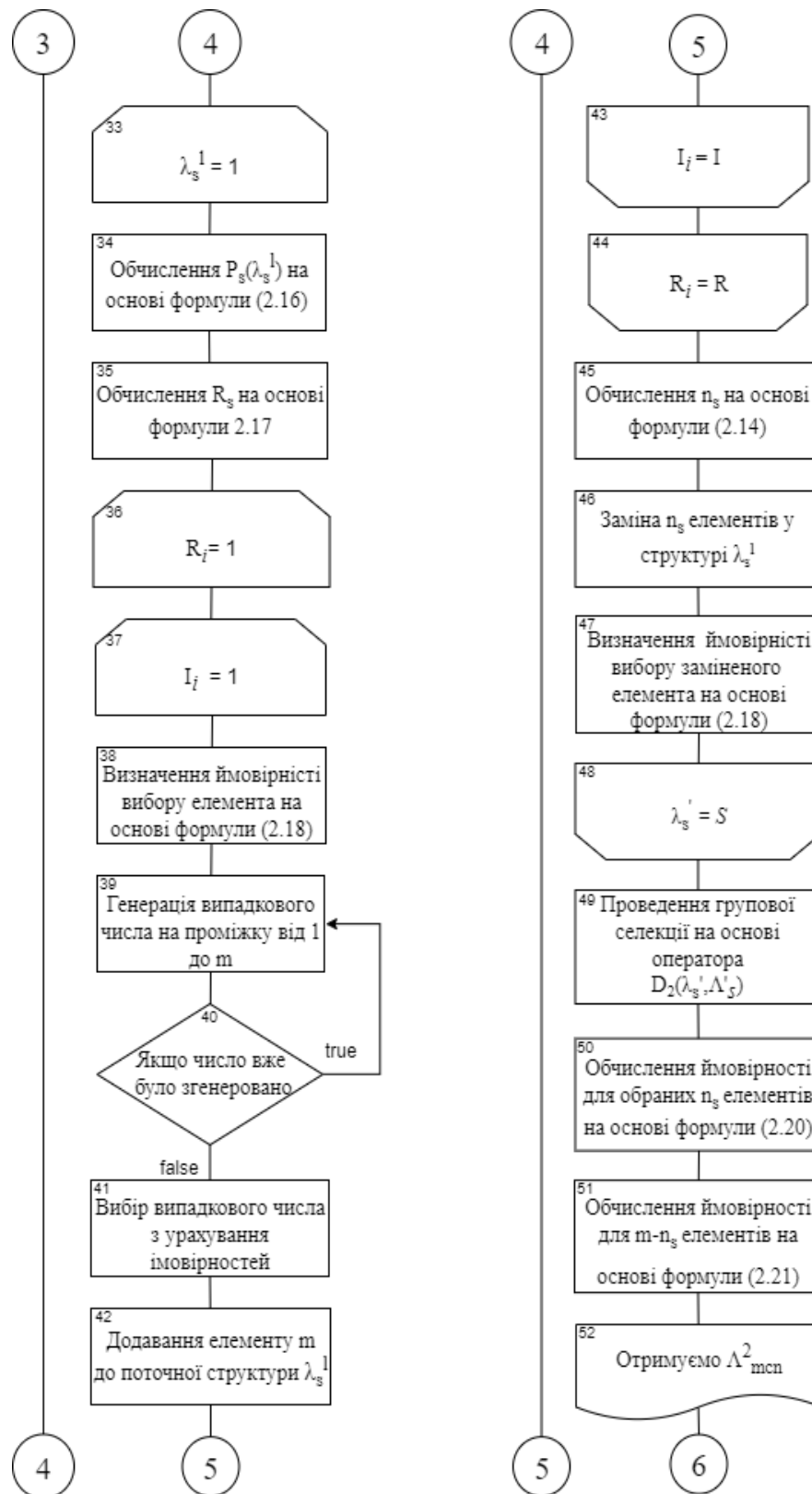


Рисунок 2.3 – Фрагмент блок-схеми алгоритму реалізації методу структурної ідентифікації ІДМ, який описує фазу бджіл дослідників

Реалізація наступної частини алгоритму представлена на рисунку 2.4 та описує фазу бджіл дослідників.

На завершальній стадії реалізації методу структурної ідентифікації ІДМ здійснюється перевірка «вичерпаності» поточних структур. Усі структури $\lambda_s^2 \in \Lambda_{mcs}^2$, для яких виконується умова перезавантаження лічильника «вичерпаності структур»: $Limit_s \geq LIMIT$ (блок 53 на рисунку 2.4), вважаються не перспективними (блок 54 на рисунку 2.4).

Якщо зазначена вище умова виконується, то поточну структуру замінюємо «ною» (блок 55 на рисунку 2.4), яку формуємо чисельною реалізацією оператора $P_N(F, I_{\min}, I_{\max})$. Коли для поточних структур знайдено хоч одну, для якої $\delta(\lambda_s^2) = 0$ (блок 56 на рисунку 2.4), то завершуємо процедуру структурної ідентифікації інтервальної дискретної моделі (блок 57 на рисунку 2.4), в протилежному випадку - повертаємося до фази робочих бджіл (блок 13 на рисунку 2.2).

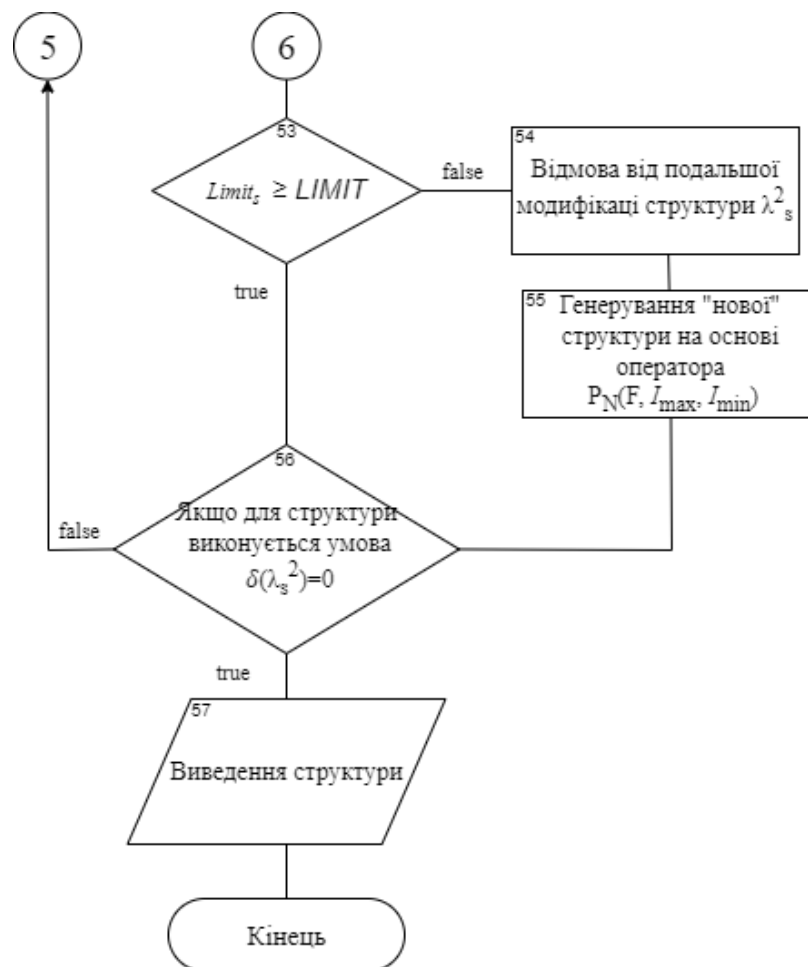


Рисунок 2.4 – Фрагмент блок-схеми алгоритму реалізації методу структурної ідентифікації ІДМ, який описує фазу бджіл розвідників

Необхідно відзначити, що у порівнянні із відомими методами на основі поведінкових моделей бджолиної колонії, налаштування вибору структурних елементів у спосіб встановлення для кожного елемента множини структурних елементів ймовірності вибору будь-якого елемента і на основі зміни цього розподілу на різних фазах ПМБК дозволяє зменшити кількість оцінюваних значень функції мети.

Таке налаштування вибору структурних елементів дозволить зменшити кількість процедур оцінки розв'язків інтервальної системи нелінійних алгебраїчних рівнянь. Реалізація даного методу дозволяє знизити обчислювальну складність при побудові зазначених моделей складних об'єктів.

2.4. Експериментальні дослідження обчислювальної складності реалізації методу

Розглянемо детальніше приклад застосування методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів. Для цього, побудуємо ІДДМ для моделювання поширення концентрацій шкідливих викидів окису вуглецю CO для однорідного середовища в процесі рівномірного руху транспорту з постійними викидами у м. Тернопіль [252].

У ході досліджень було отримано концентрації окису вуглецю з відносною похибкою 10% перпендикулярно до дороги, які наведено у таблиці 2.2.

Перш за все, задаємо значення початкових параметрів методу структурної ідентифікації наступним чином: $S_0 = 5$, $S = 5$, $LIMIT = 5$, $I_{min} = 2$, $I_{max} = 4$, $MCSN = 10000$, та згенеруємо множину структурних елементів для побудови ІДДМ не вище другого порядку.

Таблиця 2.2 – Виміряні значення окису вуглецю

№	Відстань від дороги, м.	Виміряна концентрація CO
j	$x_j, м$	$\tilde{v}_j, мг / м^3$
0	0	55
1	10	47
2	20	43
3	30	37
4	40	32
5	50	30
6	60	26
7	70	23
8	80	20
9	90	18
10	100	16

Водночас задамо початкові умови для побудови ІДДМ у вигляді виміряних значень концентрацій CO у початкових дискретах $k = 0, 1, 2$ з відносною похибкою $\pm 5\%$.

Як видно з таблиці 2.3, згенерована множина потенційних структурних елементів ІДДМ поширення концентрацій шкідливих викидів окису вуглецю CO містить вісім елементів, які забезпечують можливість побудови моделі не вище третього порядку та не вище другого степені.

Далі, реалізуємо фазу ініціалізації в результаті якої випадковим чином було сформовано початкову множину моделей претендентів Λ_0 у кількості $S_0 = 5$.

Таблиця 2.3 – Сформований набір потенційних структурних елементів моделі

№	Структурний елемент
1	v_{k-1}
2	v_{k-2}
3	v_{k-3}
4	$v_{k-1} \cdot v_{k-2}$
5	$v_{k-1} \cdot v_{k-3}$
6	$v_{k-2} \cdot v_{k-3}$
7	v_{k-1}^2
8	v_{k-2}^2

Елементи сформованої множини наведено у таблиці 2.4, де їх упорядковано за спаданням значення функції мети.

Таблиця 2.4 – Початкова множина структур-претендентів Λ_0

s	λ_s	$\delta(\lambda_s)$	$Limit_s$
1	{1, 2, 4, 7}	0,834	0
2	{1, 3}	0,765	0
3	{2, 4, 7}	0,751	0
4	{5, 7, 8}	0,72	0
5	{2, 5, 7}	0,689	0

Тепер застосовуючи (2.18) обчислимо початкові значення ймовірності вибору будь-якого елемента із множини F , таким чином отримуємо таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 - Розподіл імовірностей вибору структурних елементів

№	Структурний елемент	P_i
1	v_{k-1}	0,125
2	v_{k-2}	0,125
3	v_{k-3}	0,125
4	$v_{k-1} \cdot v_{k-2}$	0,125
5	$v_{k-1} \cdot v_{k-3}$	0,125
6	$v_{k-2} \cdot v_{k-3}$	0,125
7	v_{k-1}^2	0,125
8	v_{k-2}^2	0,125

Після цього можемо переходити, до реалізації фази активності робочих бджіл. Це означає формування на основі поточної множини моделей-претендентів Λ_0 множини Λ'_1 за допомогою оператора $O(\Lambda_{mch}, F)$.

У таблиці 2.6 наведено отримані структури-претенденти із множини Λ'_1 . Зазначимо, що у таблиці 2.6 жирним виділено нові елементи структур ІДДМ, які були додані внаслідок заміни поточних елементів.

На першій ітерації реалізації методу структурної ідентифікації для цього використовуємо рівномірний закон розподілу ймовірності вибору елементів, а кількість n_s елементів у поточній структурі які необхідно замінити, визначаємо за формулою (2.14), враховуючи якість $\delta(\lambda'_s)$ кожної із поточних структур.

Зазначимо, що множина структур-претендентів Λ'_1 формувалася поетапно, тобто після формування кожної структури λ'_s , здійснювали її параметричну ідентифікацію та попарну селекцію із використанням оператора $D_1(\lambda_s, \lambda'_s)$.

При цьому у випадку успішної заміни елементів, тобто такої, що забезпечила зменшення значення функції мети: $\delta(\lambda'_s)$, що рази проводимо перерахунок ймовірності вибору для усіх структурних елементів із множини F із використанням формул (2.19) та (2.21).

Таблиця 2.6 – Множина структур-претендентів Λ'_1

s	λ'_s	$\delta(\lambda'_s)$	n_s	s
1	{1, 2, <u>3</u> , 7}	0,948	1	1
2	{1, <u>7</u> }	1,865	1	1
3	{ <u>1</u> , 2, 7}	0,633	1	0
4	{5, <u>6</u> , 8}	0,834	1	1
5	{2, <u>3</u> , 5}	0,598	1	0

Як видно з таблиць 2.4 та 2.6, для λ'_1 не виконується умова $\delta(\lambda_1) > \delta(\lambda'_1)$, а це означає, що заміна відповідних елементів виявилася безуспішною, тому розподіл імовірностей вибору структурних елементів залишається сталим і далі переходимо до формування наступної структури-претендента. Аналогічно і для сформованої структури λ'_2 .

Після цього, було сформовано структуру ІДДМ λ'_3 , для якої умова $\delta(\lambda_3) > \delta(\lambda'_3)$ є істинною. Це означає, що заміна відповідних елементів виявилася успішною, тому обчислюємо нові значення ймовірності вибору для кожного елемента із множини F із використанням раніше зазначених формул.

Для структури λ'_4 умова $\delta(\lambda_4) > \delta(\lambda'_4)$ теж виявилася хибною, тому розподіл імовірностей із таблиці 2.7 залишився незмінним після формування λ'_4 .

Таблиця 2.7 – Оновлений розподіл ймовірностей вибору структурних елементів після формування структури λ'_3

№	Структурний елемент	P_i
1	v_{k-1}	0,275
2	v_{k-2}	0,1
3	v_{k-3}	0,1
4	$v_{k-1} \cdot v_{k-2}$	0,1
5	$v_{k-1} \cdot v_{k-3}$	0,1
6	$v_{k-2} \cdot v_{k-3}$	0,1
7	v_{k-1}^2	0,1
8	v_{k-2}^2	0,1

Для структури λ'_5 умова $\delta(\lambda_3) > \delta(\lambda'_3)$ є істинною. Тому знову ж таки було здійснено перерахунок значень ймовірності вибору для кожного елемента із множини F із використанням раніше зазначених формул. Результати цієї операції наведено у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Оновлений розподіл ймовірностей вибору структурних елементів формування структури λ'_5

№	Структурний елемент	P_i
1	v_{k-1}	0,255
2	v_{k-2}	0,08
3	v_{k-3}	0,2375
4	$v_{k-1} \cdot v_{k-2}$	0,08
5	$v_{k-1} \cdot v_{k-3}$	0,08
6	$v_{k-2} \cdot v_{k-3}$	0,08
7	v_{k-1}^2	0,08
8	v_{k-2}^2	0,08

Отже, у результаті реалізації фази активності робочих бджіл було отримано множину структур-претендентів Λ_1^1 , яку подано у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Множина структур-претендентів Λ_1^1

s	λ_s^1	$\delta(\lambda_s^1)$	$Limit_s$	R_s
1	{1, 2, 4, 7}	0,834	1	0
2	{1, 3}	0,765	1	1
3	{1, 2, 7}	0,633	0	1
4	{5, 7, 8}	0,72	1	1
5	{2, 3, 5}	0,598	0	2

Після цього, можемо переходити до реалізації фази активності бджіл-дослідників. На цій фазі, для кожної структури із множини Λ_1^1 обчислюємо значення показника R_s , який визначає кількість новосформованих структур на основі поточної λ_s^1 . Для цього, було використано вирази (2.16) та (2.17) наведені раніше. Значення R_s для кожної структури із множини Λ_1^1 наведено у таблиці 8. Тепер можемо перейти до етапу формування нових структур ІДДМ із використанням оператора $P_\theta(\Lambda_1^1, F)$. Результат застосування цього оператора наведено у таблиці 2.10. Варто зауважити, що $\Lambda_{mcs}'' = \{\Lambda_1' \cup \Lambda_2' \dots \cup \dots \cup \Lambda_s' \dots \cup \Lambda_s'\}, s = 1 \dots S$.

Зазначимо, що множина структур-претендентів Λ_1'' також формувалася поетапно, тобто після формування кожної множини структур Λ_s' , здійснювали їх параметричну ідентифікацію та погрупову селекцію із використанням оператора $D_2(\lambda_s^1, \Lambda_s')$. При цьому у випадку успішної заміни елементів, тобто такої, що забезпечила зменшення значення функції мети що разу проводимо перерахунок ймовірності вибору для усіх структурних елементів із множини F із використанням формул (2.19) та (2.21).

Таблиця 2.10 - Множина структур-претендентів Λ_1^1 та новосформована на їх основі множина Λ_1''

s	λ_s^1	$\delta(\lambda_s^1)$	$Limit_s$	R_s	n_s	Λ'_s	$\delta(\lambda_r), r=1...R_s$
1	{1, 2, 4, 7}	0,834	1	0	-	\emptyset	-
2	{1, 3}	0,765	1	1	1	{1, <u>2</u> }	0,49
3	{1, 2, 7}	0,633	0	1	1	{1, <u>3</u> , 7}	0,932
4	{5, 7, 8}	0,72	1	1	1	{5, <u>3</u> , 8}	1,32
5	{2, 3, 5}	0,598	0	2	1	{ <u>1</u> , 3, 5}	0,99
						{2, 3, <u>4</u> }	0,545

Як видно із таблиці 2.10, для структури λ_1 із множини Λ'_2 виконується умова $\delta(\lambda_2^1) > \delta(\lambda_1)$, а це означає, що заміна відповідних елементів виявилася успішною, тому обчислюємо нові значення ймовірності вибору для кожного елемента із множини F із використанням раніше зазначених формул. Оновлений розподіл імовірностей вибору структурних елементів наведено у таблиці 2.11. Для структур із множин Λ'_3 та Λ'_4 значення функції мети не зменшилося, тому розподіл імовірностей із таблиці залишився незмінним.

Таблиця 2.11 - Оновлений розподіл імовірностей вибору структурних елементів після формування множини Λ'_2

№	Структурний елемент	P_i
1	v_{k-1}	0,227
2	v_{k-2}	0,275
3	v_{k-3}	0,2
4	$v_{k-1} \cdot v_{k-2}$	0,052
5	$v_{k-1} \cdot v_{k-3}$	0,052
6	$v_{k-2} \cdot v_{k-3}$	0,052
7	v_{k-1}^2	0,052
8	v_{k-2}^2	0,052

Як видно із таблиці 2.11, для структури λ_2 із множини Λ'_5 виконується умова $\delta(\lambda_5^1) > \delta(\lambda_2)$, а це означає, що заміна відповідних елементів виявилася успішною, тому обчислюємо нові значення ймовірності вибору для кожного елемента із множини F із використанням формул (2.19) та (2.21). Оновлений розподіл імовірностей вибору структурних елементів наведено у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 - Оновлений розподіл імовірностей вибору структурних елементів після формування множини Λ'_2

№	Структурний елемент	P_i
1	v_{k-1}	0,2
2	v_{k-2}	0,255
3	v_{k-3}	0,18
4	$v_{k-1} \cdot v_{k-2}$	0,19
5	$v_{k-1} \cdot v_{k-3}$	0,032
6	$v_{k-2} \cdot v_{k-3}$	0,032
7	v_{k-1}^2	0,032
8	v_{k-2}^2	0,032

Тепер можемо сформуванати множину структур претендентів Λ_1^2 .

Таблиця 2.13 - Множина структур-претендентів Λ_1^2

s	λ_s^1	$\delta(\lambda_s^1)$	$Limit_s$
1	{1, 2, 4, 7}	0,834	2
2	{1, 2}	0,49	0
3	{1, 2, 7}	0,633	1
4	{5, 7, 8}	0,72	2
5	{2, 3, 4}	0,545	0

Далі переходимо до реалізації фази активності бджіл-розвідників. На цій фазі перевіряємо критерій вичерпності структури: $Limit_s \geq LIMIT$. Однак, як видно із таблиці 2.13 для жодної із структур-претендентів із множини Λ_1^2 ця умова не виконується. Нагадаємо, на фазі ініціалізації значення константи $LIMIT$ було задано наступним чином $LIMIT = 5$. Тому оператор $P_N(F, I_{\min}, I_{\max})$ не виконався жодного разу.

Отже, трансформуємо множину Λ_1^2 у множину Λ_2 без жодних змін. При цьому множина Λ_2 та розподіл імовірностей вибору структурних елементів із таблиці 2.13 будуть вихідними для реалізації другої ітерації ($msn = 2$) реалізації методу структурної ідентифікації ІДДМ на основі алгоритму бджолиної колонії.

У ході досліджень було здійснено побудову ІДДМ для вищезазначеного прикладу із використанням процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів та без неї.

Із використанням процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів було побудовано ІДДМ у такому вигляді:

$$[\hat{v}_k] = g_1 + g_2 \cdot [\hat{v}_{k-1}] - g_3 \cdot [\hat{v}_{k-2}], \quad k = 2, \dots, 10. \quad (2.22)$$

Де значення параметрів: $g_1 = 0,222781$, $g_2 = 0,728592$, $g_3 = 0,133172$. На рисунку 2.5 наведено копію екрану програмного забезпечення, яка ілюструє коридор інтервальних моделей, побудований на основі ІДДМ отриманої у ході першого експерименту.

У ході другого експерименту, де в процесі ідентифікації структурні елементи для моделі обирали випадковим чином, було отримано ІДДМ із тією ж структурою (1), але іншими значення вектора параметрів: $g_1 = -0,047876$, $g_2 = 0,051$, $g_3 = 0,736793$.

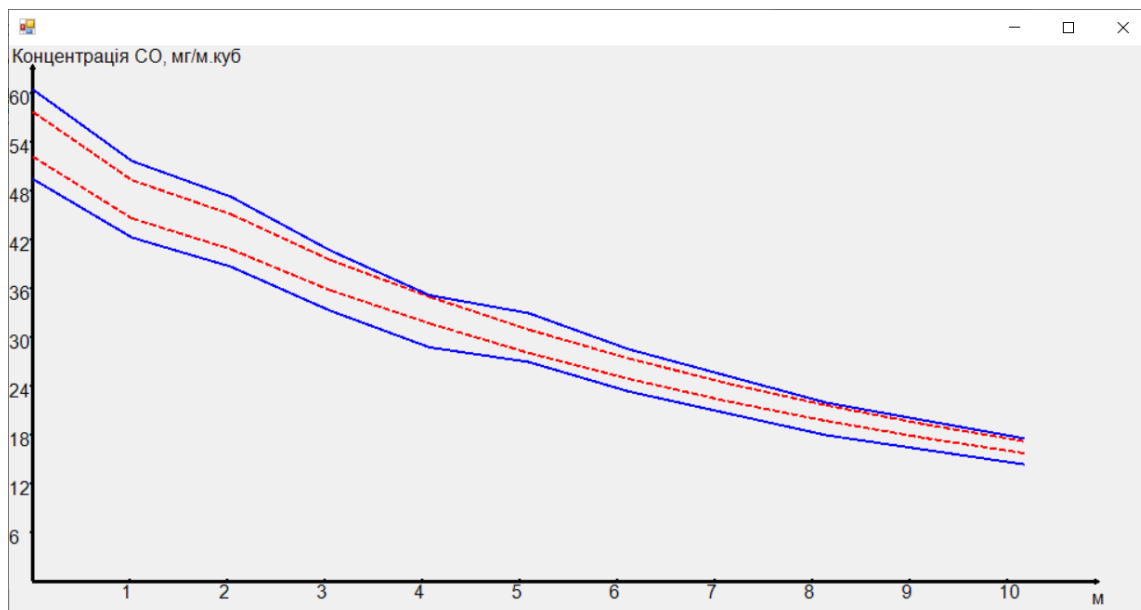


Рисунок 2.5 – Коридор інтервальних моделей, побудований на основі ІДДМ отриманої у ході першого експерименту

На рисунку 2.6 наведено копію екрану програмного забезпечення, яка ілюструє коридор інтервальних моделей, побудований на основі ІДДМ отриманої у ході другого експерименту.

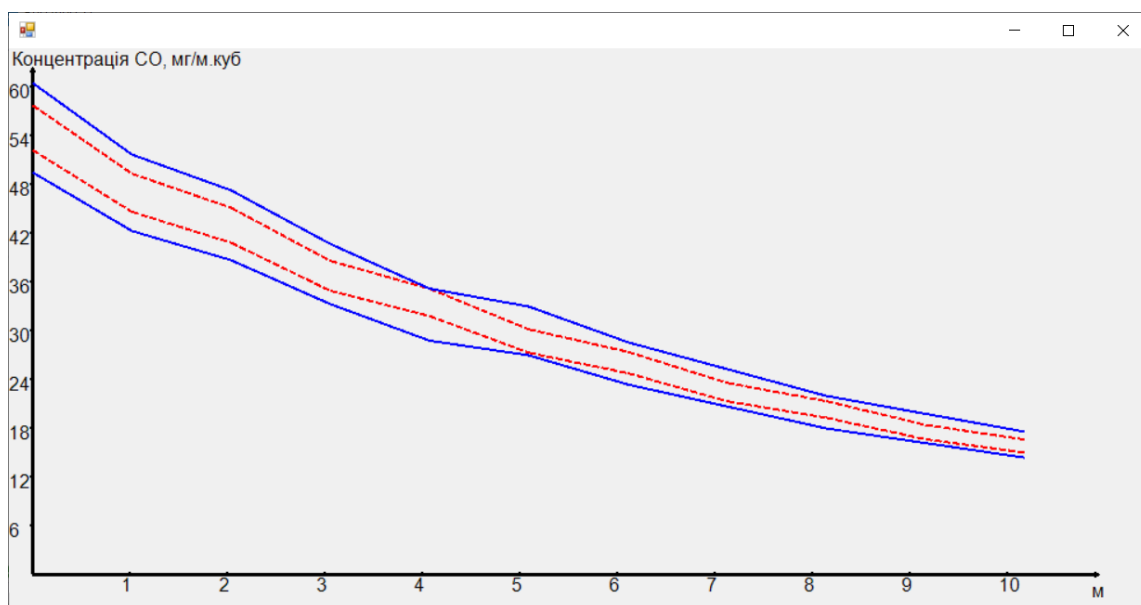


Рисунок 2.6 – Коридор інтервальних моделей, побудований на основі ІДДМ отриманої у ході другого експерименту

Для порівняння складності застосування методу структурної ідентифікації у обох експериментах, традиційно використаємо показник N – кількість обчислень значень функції мети оптимізаційної задачі. Для першого експерименту $N=15\,028\,474$, тоді як для другого - $N=15\,566\,861$. Результати дослідження удосконаленого методу, проілюстровано діаграмою на рисунку 2.7.

Очевидно, що використання процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів забезпечує зменшення обчислювальної складності застосування методу структурної ідентифікації, побудованого на засадах алгоритму бджолиної колонії.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що при реалізації цього методу знижується обчислювальна складність у порівнянні із відомим методом на 4% при двох параметрах.

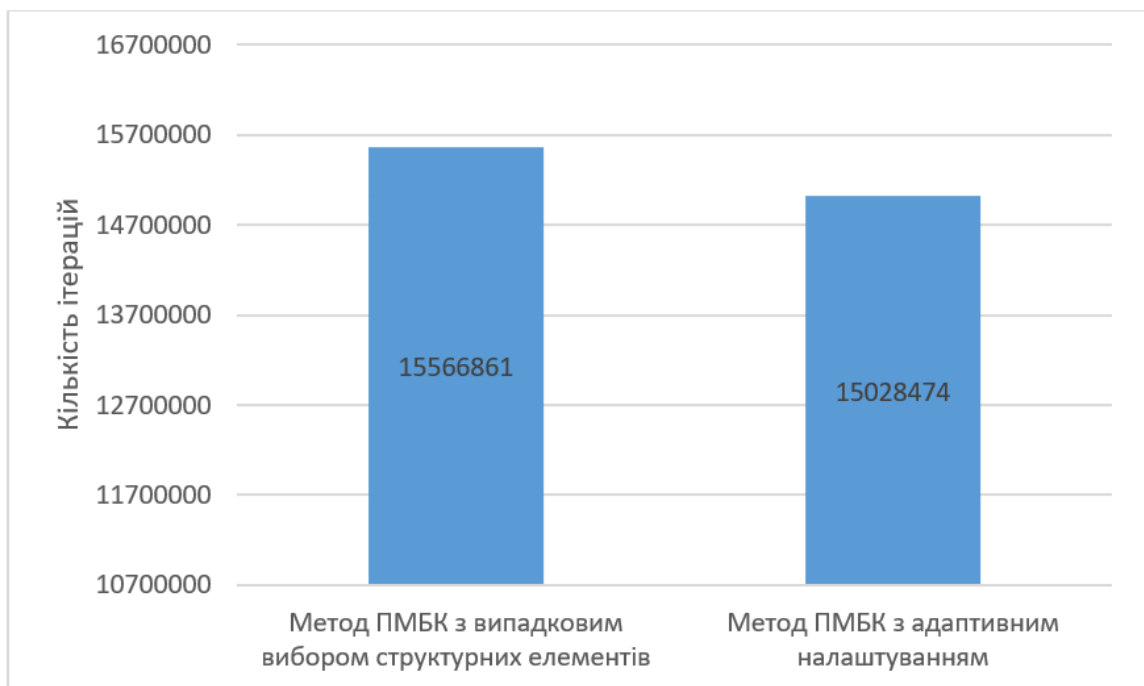


Рисунок 2.7 – Діаграма обчислювальної складності реалізації методу структурної ідентифікації на основі ПМБК із процедурами випадкового вибору елементів та на основі методу з адаптивним налаштуванням для першого експерименту

При цьому, очевидно, що із збільшенням розмірності та складності задачі ідентифікації, ефективність застосування процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів буде тільки зростати. Для підтвердження вказаних припущень, було проведено ряд додаткових досліджень. Розглянемо детальніше отримані результати.

Розглянемо задачу побудови моделі динаміки концентрацій NO_2 у контрольній точці у м. Тернопіль. Структурна ідентифікація математичних моделей динаміки концентрацій NO_2 у визначеній точці в місті Тернопіль була реалізована на основі експериментальних даних, які помірні на перехресті вулиць Теліги-За Рудкою. Також враховано інтенсивність транспорту у цій точці за контрольні інтервали часу, тобто кожні 20 хвилин. Для визначення концентрації діоксиду азоту у заданій точці використовувався датчик DGS-NO2 968-037, з похибкою вимірювань на рівні 15%. Інтенсивність потоків транспорту у визначеній точці фіксувалась без помилок. На основі проведених експериментів було сформовано однакову множину структурних елементів F , подану у таблиці 2.14.

Початкові параметри методу ініціалізовано виходячи із досвіду застосування методу, а саме: $S_0 = 10$ (початкова кількість структур ІДДМ – «кількість робочих бджіл колонії»), $S = 10$ (кількість структур ІДДМ згенерованих на основі оператора $P_\delta(\Lambda^1_{mcn}, F)$ – «кількість бджіл-дослідників колонії»), $LIMIT = 5$, $I_{\min} = 4$, $I_{\max} = 7$, $MCN = 1000000$.

Розв'язання даної оптимізаційної задачі традиційно здійснювалося двома способами: із застосуванням процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів та із використанням процедури випадкового вибору структурних елементів.

Для порівняння складності застосування методу структурної ідентифікації у обох експериментах, традиційно використано показник N – кількість обчислень значень функції мети оптимізаційної задачі.

Таблиця 2.14 - Множина потенційних структурних елементів
інтервальної моделі

№	Структурний елемент моделі	№	Структурний елемент моделі
1	v_{k-1}	26	v_{k-4}/v_{k-3}
2	v_{k-2}	27	$v_{k-1} \cdot u_{k-1}/u_{k-2}$
3	v_{k-3}	28	$v_{k-1} \cdot u_{k-2}/u_{k-1}$
4	v_{k-4}	29	$v_{k-1} \cdot u_{k-1}/u_{k-3}$
5	$v_{k-1} \cdot v_{k-2}$	30	$v_{k-1} \cdot u_{k-3}/u_{k-1}$
6	$v_{k-1} \cdot v_{k-3}$	31	$v_{k-1} \cdot u_{k-1}/u_{k-4}$
7	$v_{k-1} \cdot v_{k-4}$	32	$v_{k-1} \cdot u_{k-4}/u_{k-1}$
8	$v_{k-2} \cdot v_{k-3}$	33	$v_{k-2} \cdot u_{k-1}/u_{k-2}$
9	$v_{k-2} \cdot v_{k-4}$	34	$v_{k-2} \cdot u_{k-2}/u_{k-1}$
10	$v_{k-3} \cdot v_{k-4}$	35	$v_{k-2} \cdot u_{k-1}/u_{k-3}$
11	v_{k-1}^2	36	$v_{k-2} \cdot u_{k-3}/u_{k-1}$
12	v_{k-2}^2	37	$v_{k-2} \cdot u_{k-1}/u_{k-4}$
13	v_{k-3}^2	38	$v_{k-2} \cdot u_{k-4}/u_{k-1}$
14	v_{k-4}^2	39	$v_{k-3} \cdot u_{k-1}/u_{k-2}$
15	v_{k-1}/v_{k-2}	40	$v_{k-3} \cdot u_{k-2}/u_{k-1}$
16	v_{k-1}/v_{k-3}	41	$v_{k-3} \cdot u_{k-1}/u_{k-3}$
17	v_{k-1}/v_{k-4}	42	$v_{k-3} \cdot u_{k-3}/u_{k-1}$
18	v_{k-2}/v_{k-3}	43	$v_{k-3} \cdot u_{k-1}/u_{k-4}$
19	v_{k-2}/v_{k-4}	44	$v_{k-3} \cdot u_{k-4}/u_{k-1}$
20	v_{k-3}/v_{k-4}	45	$v_{k-4} \cdot u_{k-1}/u_{k-2}$
21	v_{k-2}/v_{k-1}	46	$v_{k-4} \cdot u_{k-2}/u_{k-1}$
22	v_{k-3}/v_{k-1}	47	$v_{k-4} \cdot u_{k-1}/u_{k-3}$
23	v_{k-3}/v_{k-2}	48	$v_{k-4} \cdot u_{k-3}/u_{k-1}$
24	v_{k-4}/v_{k-1}	49	$v_{k-4} \cdot u_{k-1}/u_{k-4}$
25	v_{k-4}/v_{k-2}	50	$v_{k-4} \cdot u_{k-4}/u_{k-1}$

Для першого способу отримано $N=18\ 106\ 271$, тоді як для другого $N=19\ 789\ 004$. Результати відповідних досліджень проілюстровано діаграмою на рисунку 2.8.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що при реалізації цього методу знижується обчислювальна складність у порівнянні із відомим методом на 8,5% при збільшенні розмірності задачі до 4 параметрів моделі.

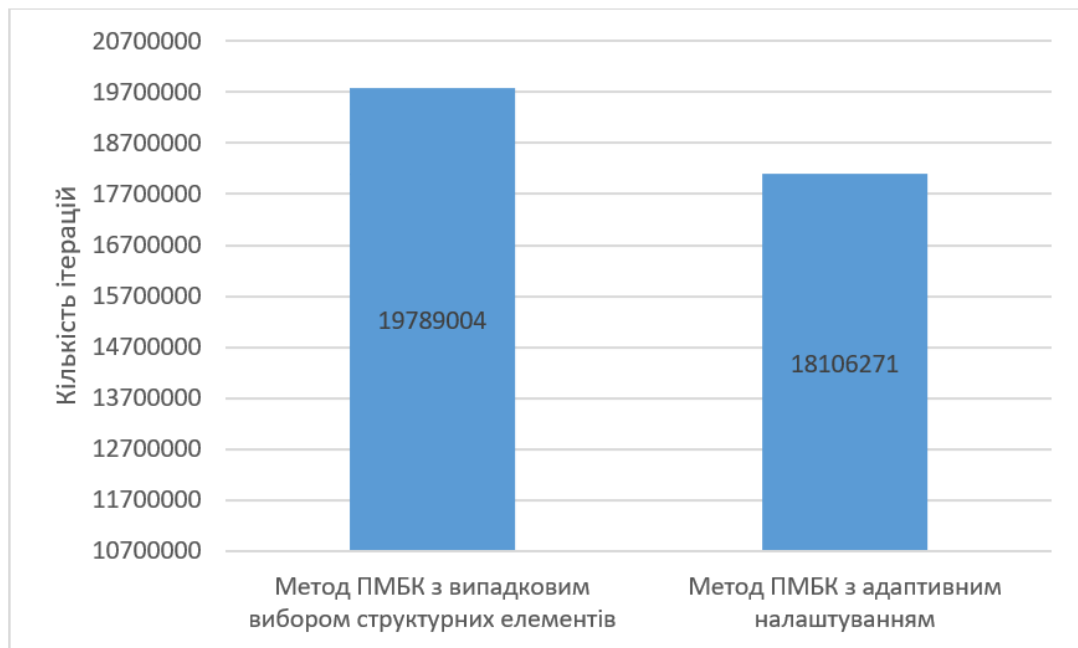


Рисунок 2.8 – Діаграма обчислювальної складності реалізації методу структурної ідентифікації на основі ПМБК із процедурами випадкового вибору елементів та на основі методу з адаптивним налаштуванням для другого експерименту

Розглянемо приклад застосування запропонованого методу до моделювання розподілу концентрації діоксиду азоту, який спричинено шкідливими викидами у вихлопних газах автотранспорту в заданій центральній ділянці міста Тернополя на кільці автомагістралі до якого примикають вулиці С. Крушельницької, Збараська, Бродівська та Галицька.

Для побудови ІДМ, що прогнозує розподіл концентрацій діоксиду азоту на вказаній ділянці необхідно розв'язати задачу параметричної ідентифікації цієї моделі, використовуючи метод структурної ідентифікації на основі ПМБК. З огляду на досвід проведення попередніх досліджень по структурній ідентифікації, для моделювання на основі експериментальних даних була обрана наступна початкова структура:

$$\hat{v}_{i,j,h,k} = g_1 + g_2 \cdot \hat{v}_{i,j-1,h,k} + g_3 \cdot \hat{v}_{i-1,j,h,k} + g_4 \cdot \hat{v}_{i-1,j-1,h,k} + g_5 \cdot \hat{v}_{i,j-2,h,k} + g_6 \cdot \hat{v}_{i,j-3,h,k} \quad (2.23)$$

Розв’язання даної задачі традиційно здійснювалося двома способами: із застосуванням процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів та із використанням процедури випадкового вибору структурних елементів. Для порівняння складності застосування методу структурної ідентифікації у обох експериментах, традиційно використано показник N – кількість обчислень значень функції мети оптимізаційної задачі.

Для першого способу отримано $N=19\,953\,774$, тоді як для другого $N=25\,412\,347$. Результати відповідних досліджень проілюстровано діаграмою на рисунку 2.9. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що при реалізації цього методу знижується обчислювальна складність у порівнянні із відомим методом на 21,48% при збільшенні розмірності задачі до 6 параметрів моделі.

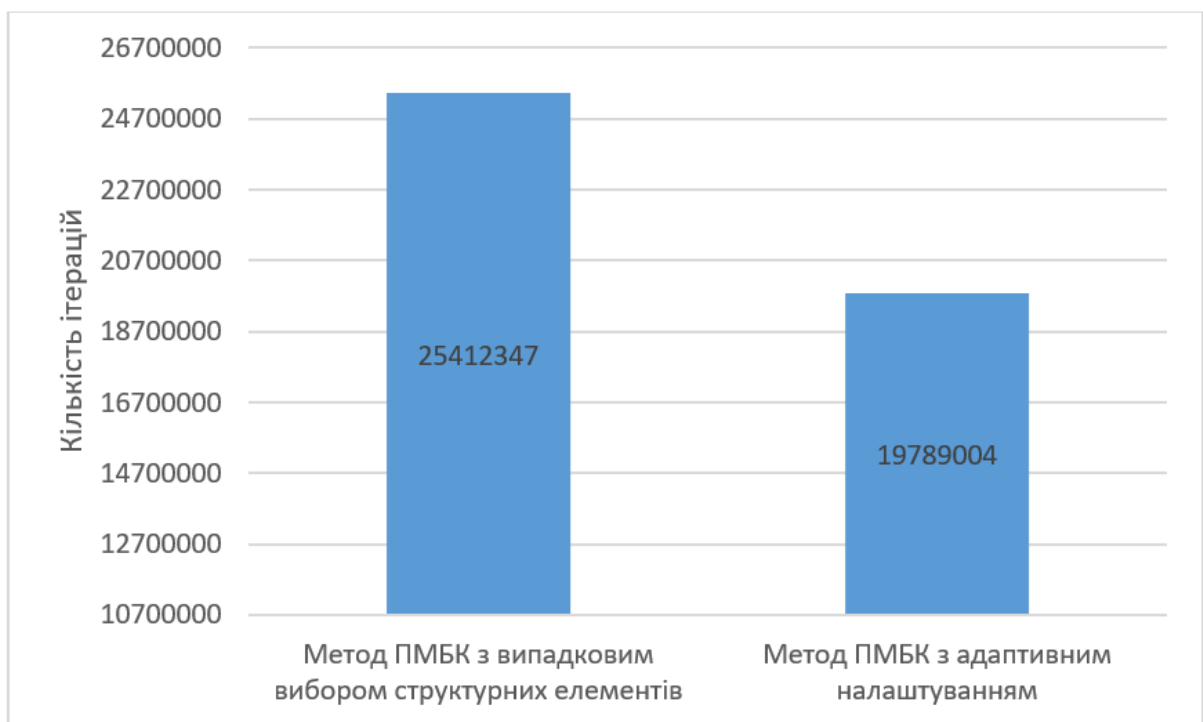


Рисунок 2.9 – Діаграма обчислювальної складності реалізації методу структурної ідентифікації на основі ПМБК із процедурами випадкового вибору елементів та на основі методу з адаптивним налаштуванням для третього експерименту

У таблиці 2.15 наведено результати дослідження обчислювальної складності реалізації методу з адаптивним налаштуванням вибору елементів для проведених експериментів.

Таблиця 2.15 – Порівняння обчислювальної складності

	Експеримент №1		Експеримент №2		Експеримент №3	
	Кількість параметрів в моделі	Кількість ітерацій знаходження функції мети	Кількість параметрів в моделі	Кількість ітерацій знаходження функції мети	Кількість параметрів в моделі	Кількість ітерацій знаходження функції мети
Метод ПМБК з випадковим вибором структурних елементів	2	15566861	4	19789004	6	25412347
Метод ПМБК з адаптивним налаштуванням	2	15028474	4	18106271	6	19953774
Зниження обчислювальної складності, у %	4%		8.5%		21.48%	

На рисунку 2.10 представлено порівняння ефективності методу структурної ідентифікації на основі ПМБК із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів для оптимізаційних задач різної розмірності.

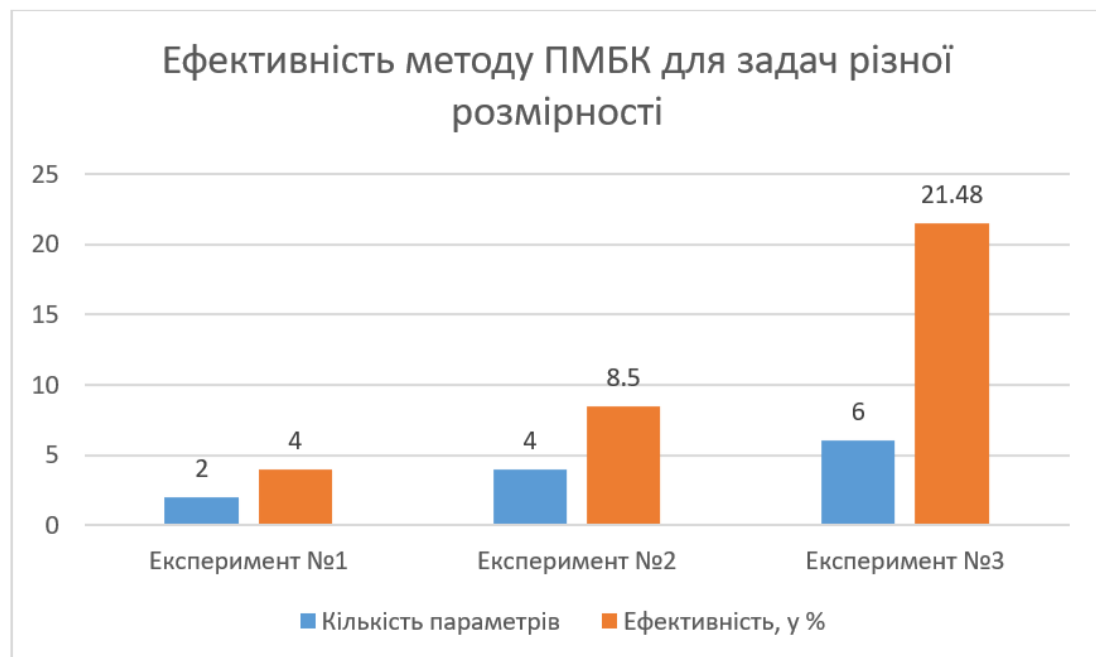


Рисунок 2.10 – Ефективність методу ПМБК для задач різної розмірності

Очевидно, що із збільшенням розмірності та складності задачі ідентифікації, ефективність застосування процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів буде тільки зростати.

Висновки до розділу 2

1. Розглянуто задачу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів та метод її розв'язування на основі поведінкової моделі бджолоїної колонії. Досліджено особливості реалізації цього методу. Встановлено, що під час формування структур на різних фазах обчислювальної схеми методу здійснюємо вибір із множини елементів випадково і заміну структурних елементів здійснюємо також випадково.

В основі такого вибору покладено рівномірний закон розподілу. Це означає, що будь-який елемент структури рівно ймовірно може бути обраний для формування структури як на початкових фазах так і на наступних фазах. Також показано, що ці процедури є ключовими з точки зору часової складності реалізації методу, оскільки якість сформованих структур безпосередньо залежить від «успішності» обрання того чи іншого елемента із множини елементів. З іншого боку, набір структурних елементів різницевої схеми, яка є моделлю об'єкта визначається властивостями модельованого об'єкта і множина структурних елементів, з яких синтезується ця різницева схема, повинна вміщувати характерні елементи, які будуть включені до кінцевої моделі об'єкта.

Спираючись на ці факти, сформульовано задачу про необхідність встановлення пріоритетності обрання структурних елементів із множини для формування оптимальної, в сенсі задачі структурної ідентифікації структури ІДМ, що у підсумку забезпечить зниження обчислювальної складності методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів.

2. Удосконалено метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який на відміну від існуючих, містить обчислювальні процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів у спосіб встановлення для кожного елемента множини структурних елементів ймовірності вибору будь-якого елемента і на основі зміни цього розподілу на різних фазах ПМБК, що у сукупності знижує обчислювальну складність реалізації методу.

На тестових прикладах показано, що при реалізації цього методу досягається зниження обчислювальної складності у порівнянні із відомим методом на 4% для задач з невеликою розмірністю, а саме для 2 параметрів моделі, а із зростанням розмірності задачі до 6 параметрів досягається зниження обчислювальної складності у порівнянні із відомим методом на 21.48%.

3. Проаналізовано основні обчислювальні аспекти реалізації методу структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів з процедурою адаптивного налаштування вибору структурних елементів і на цій основі розроблено алгоритм його реалізації.

4. Наведено результати порівняльного аналізу обчислювальної складності розглянутого методу структурної ідентифікації з відомими методами на прикладі оцінювання динаміки концентрацій шкідливих викидів у м. Тернопіль. За показник обчислювальної складності методів вибрано кількість ітерацій методу, кожна з яких полягає у кількості обчислень значень функції мети оптимізаційної задачі. У ході обчислювальних експериментів удосконалений метод забезпечив зниження обчислювальної складності застосування методу для всіх проведених експериментів.

РОЗДІЛ 3.

ОНТОЛОГІЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДАНИХ

Комп'ютерні (дискретні) моделі об'єктів з розподіленими параметрами набули широкого використання у різних прикладних сферах: від військового застосування до екології, енергетики та медицини.

Представлення цих моделей у вигляді інтервальних різницевих рівнянь має переваги для комп'ютерного моделювання, проте вимагає застосування методів структурної та параметричної ідентифікації на основі результатів спостережень, які переважно є неточними. Разом з тим, розроблені математичні та комп'ютерні моделі відзначаються високою обчислювальною складністю, яка необхідна для забезпечення адекватності та достатньої для прийняття рішень точності. Проблема складності пов'язана із необхідністю розширення сфери застосування моделі у певній предметній області, при збереженні прогностичних властивостей моделі. Саме на розв'язування цього протиріччя, яке становить суть наукової проблеми, націлена ця робота.

Онтологічний підхід, який забезпечуватиме побудову моделі представлення предметної області, слугуватиме своєрідним нелінійним елементом інтервальної дискретної моделі, побудованої на основі аналізу інтервальних даних для розширення сфери застосування простіших моделей у обраній предметній області.

Основні ідеї, які описані в даному розділі лягли в основу нової концепції ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. Суть даної концепції полягає у поєднанні онтологічного підходу та методів аналізу інтервальних даних щоб вирішити основне протиріччя у процесі розроблення та застосування дискретних моделей об'єктів з розподіленими параметрами, які представляються у формі інтервальних різницевих рівнянь, яке полягає у необхідності розширення умов застосування моделі для прогнозування та

прийняття рішень, при збереженні адекватності та заданої точності моделі без суттєвого підвищення обчислювальної складності при її використанні.

У цьому розділі пропонується онтологічний підхід, як інструмент управління процесами побудови математичних моделей на основі інтервальних даних та використання цих моделей для прикладних задач.

У наступній частині розділу наведено ряд схем, які ілюструють технологію використання онтологічного підходу на основі інтервальних даних та описано особливості його інтерпретації в прикладних задачах.

Вперше запропонований гібридний метод структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який дозволяє вибрати модель з відповідними параметрами, яка найкраще задовольняє відповідні умови, описує ситуацію і знаходиться у досліджуваній або суміжній із досліджуваною предметній області, а запропонований онтологічний опис дає можливість розробити середовище для моделювання на основі інтервальних даних.

Основні результати цього розділу опубліковано автором у працях [11, 41, 44, 46-49, 109, 116, 121, 122, 144, 147, 195, 231, 239, 241, 245, 248, 250, 251, 253].

3.1. Опис теоретичного підґрунтя побудови онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних

Математичні знання - це термін, який часто використовується для опису різних складових математичної науки, таких як теореми, леми, аксіоми, доведення тощо. Під терміном «знання з математичного моделювання» розуміємо означення величезної кількості знань, які формалізовані як в рамках конкретної математичної моделі, так і в процесі її побудови, а також пов'язані з ними процедури практичного використання. Порівняно з іншими формами знань, такими як правила, дерева розв'язків, математичні знання є більш абстрактними та більш структурованими [49, 68, 171].

В загальному випадку онтологічний підхід до математичного моделювання стосується використанням онтології, оскільки він будується на термінах математичного моделювання та описах взаємозв'язків між основними процесами його перебігу [28].

Загальний онтологічний підхід до математичного моделювання з прикладної точки зору не дозволяє здійснювати управління процесами побудови математичних моделей, оскільки за його допомогою можна лише описати область математичного моделювання [71].

Виходячи з прикладної точки зору, то більшість основних форм математичних знань або вбудовані у конкретних програмних засобах, таких як моделі роботи агрегату в імітаційному програмному забезпеченні, або мають бути формально інтерпретовані у більш загальний математичний інструмент, дотримуючись відповідних синтаксичних правил.

Більшість такого типу знань стосується конкретних завдань моделювання і чітко реалізовані за допомогою відповідних процедурних описів, а не декларативних представлень на відміну від філософського бачення математичного моделювання.

Разом з тим застосування відомого інструментарію реалізованих програмних засобів недостатньо як для дослідників так і спеціалістів-практиків, оскільки сама онтологія процесу прихована в процедурах, модулях конкретного програмного продукту. Така функціональна специфіка суттєво звужує можливості практичного використання такого інструментарію дослідниками та практикаками.

Виходячи із наведених вище припущень виникає актуальна науково-практична проблема побудови та реалізації онтологічних моделей для конкретного розділу математичного моделювання, його окремих підходів. Застосування такого типу онтологічних моделей дозволяє значно розширити можливості використання існуючого інструментарію.

Одним із напрямків математичного моделювання є індуктивний підхід, який ґрунтується на само організованому процесі еволюційного переходу від експериментальних даних до побудованих математичних моделей, які показують ті закономірності модельованих об'єктів і систем, які неявно відображаються в наявних експериментальних даних [76, 78, 112].

Важливою особливістю при реалізації індуктивного підходу є природа невизначеності інформаційних масивів даних, оскільки він ґрунтується на методах аналізу самих даних.

Онтологічний підхід для побудови математичних моделей в межах індуктивного підходу на основі методів групового урахування аргументів враховує ключові параметри для основних складових процесу моделювання, які обумовлюють можливість узагальнення та доцільність конструювання багатофункціональних програмних модулів при розробці комп'ютерних засобів індуктивного моделювання на основі МГУА [65, 77].

Оскільки запропонований підхід має складну структуру, яка інтерпретована з використанням Protege [31, 75, 133, 212] та не містить прикладних програмно-інтерпретованих рішень, то його практичне використання в інших підходах до математичного моделювання є не достатньо доцільним. Використання такого підходу вимагає великих часових витрат на формалізацію самої предметної області та виходячи із складності її представлення в рамках системи Protege не сприятиме підтримці серед розробників відповідних прикладних програмних рішень [176, 203].

Іншим напрямком в математичному моделюванні на основі індуктивного підходу є методи математичного моделювання на основі інтервальних даних [45, 93]. Особливість цих методів є множинне представлення оцінок параметрів моделі «вхід-вихід», побудованої за результатами експерименту, в якому вихідні змінні одержані у інтервальному представленні.

В результаті використання інтервальних методів, замість однієї моделі «вхід-вихід», формується множина рівнозначних інтервальних моделей.

Властивості таких моделей залежать від підходу до множинного оцінювання параметрів. Множину оцінок параметрів переважно шукають у вигляді многогранника, еліпсоїда або паралелепіпеда, який формує інтервальні значення параметрів.

Оскільки методи моделювання складних систем, побудовані на основі інтервального аналізу даних, вимагають мінімальної кількості інформації про досліджувану систему, то їх використання суттєво збільшує клас аналізованих систем.

Разом з тим, ці методи для використання як дослідниками так і користувачами-практиками є значно обмеженим, а тому розробка онтологічного підходу для даного напрямку математичного моделювання, який є більш практично-орієнтованим ніж підходи, які пропонуються в межах інших напрямків математичного моделювання.

Потреба в автоматизованому, систематичному, багаторазовому використанні математичних моделей, як середовища отримання, накопичення та багаторазового використання знань цілком виправдана в контексті великої кількості інформації про процес та продукцію знань, що генеруються та зберігаються.

Онтологія математичного моделювання на основі інтервальних даних, дозволяє розширити можливість дослідників об'єктів різної природи, дані з яких отримуємо в інтервальному виді, а також практиків при застосуванні для моделювання процесів в медичних галузях, галузях екологічного моніторингу та інших.

У запропонованому онтологічному підході для представлення понять, методів та засобів математичного моделювання на основі інтервальних даних, а саме декларативної та процедурної частин, математичні знання відокремлені [44, 49].

Декларативна частина складається з інформації, яка необхідна для побудови моделі, інформації, отриманої з моделі та відповідних математичних виразів, що представляють модель. Процедурна частина

складається з деталізованих частин моделі, відповідних методів та алгоритмів їх реалізації, процедур ініціалізації змінних та їх інтерпретації.

Серед інструментів, які використовують для побудови та використання онтології, найчастіше використовуються Protege та OntoStudio [20, 31, 75]. Ці засоби завдяки надійності, високій частоті використання, масштабованості та розширюваності можуть також використовуватися в процесі побудови відповідних онтологічних моделей для представлення та управління знаннями, які накопичують в процесі математичного моделювання [32, 156, 212].

Проте, зазначені засоби складно інтегрувати в програмно-апаратні комплекси, які, зокрема часто використовують в медицині, і де швидкість та якість прийняття управлінських рішень є першочерговим завданням. Тому в якості інструментарію для побудови онтології в даній роботі використовуються:

- засоби сучасних реляційних баз даних - для зберігання інформації [150, 186];

- алгебра кортежів - для формалізованого представлення знань та подальшої їх програмної інтерпретації незалежно від вибраних програмних платформ для їх реалізації, а також з метою реалізації ефективних методів управління накопиченими знаннями [101-103, 120];

- Python та Java в якості мов програмування для відповідної інтерпретації запропонованих методів та засобів [84, 96, 174, 175].

На рисунку 3.1 представлено схему взаємозв'язків між декларативною та процедурною частиною знань, які накопичуються в процесі математичного моделювання на основі інтервальних даних в рамках пропонованого онтологічного підходу.

Декларативна частина онтологічного підходу складається з онтології формалізованих математичних моделей (декларативна онтологія), яка містить визначення моделей та інформаційний репозиторій.

Онтологія використання математичних моделей (операційна онтологія) містить проектні дані, умови експлуатації, параметри обладнання для використання моделей. Модельна онтологія складається з модельного класу, який має як атрибути та екземпляри.

Клас рівнянь, який позначає модельні рівняння (інтегральні рівняння, алгебраїчні рівняння або функції), параметри моделі, залежні та незалежні змінні, універсальні класи констант.

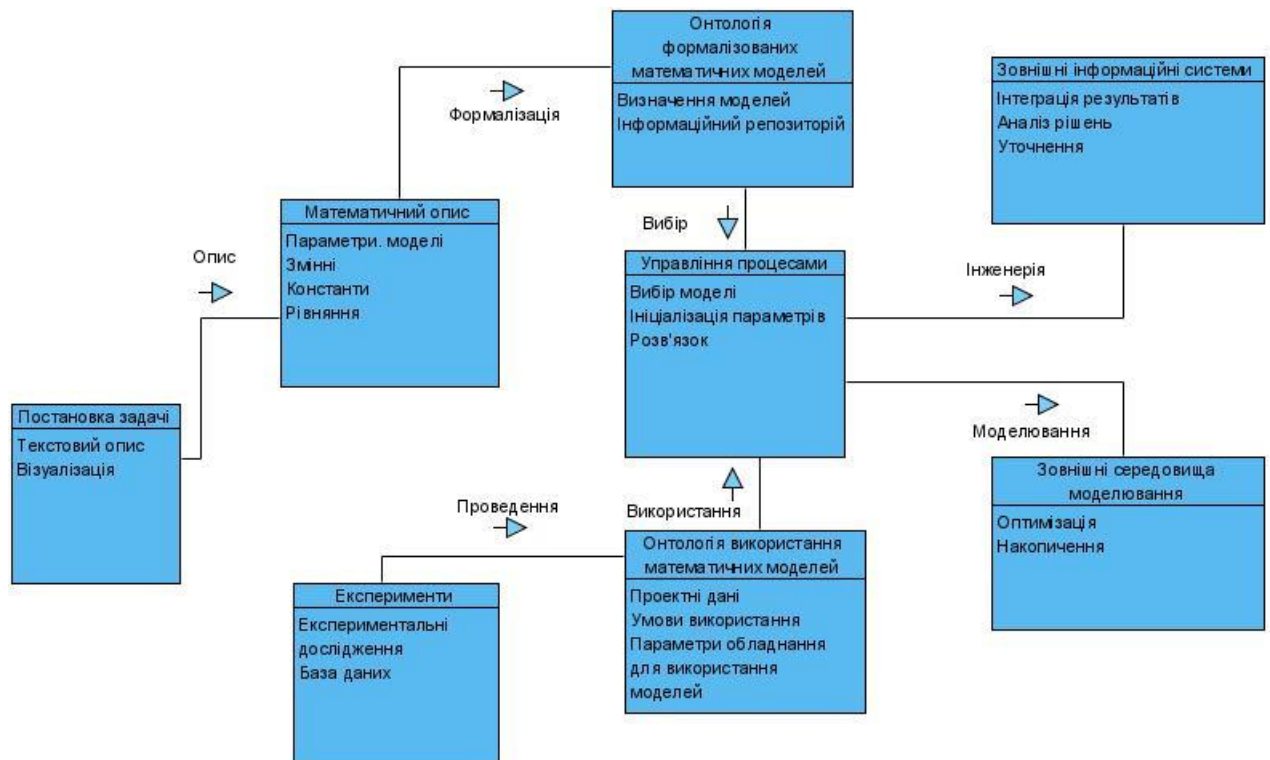


Рисунок 3.1 – Загальна схема реалізації онтологічного підходу для математичного моделювання на основі інтервальних даних

Усі вищезазначені атрибути класу моделі по суті описують знання про модель інтуїтивно зрозумілим і явним чином, що робить модельне представлення більш систематичним, комп'ютерно-інтерпретованим та узагальненим за своєю суттю.

Особливість пропонованого підходу є те, що компоненти створеної таким чином моделі є повністю і повторно використовуваними, тобто рівняння, змінні, припущення з однієї моделі можуть бути використані

повторно під час створення іншої моделі, або сформована база математичних моделей може бути повторно використана в процесі інтерпретації в інших інформаційних системах [49, 121].

Таким чином, процес створення математичних моделей та їх практичне використання стає більш інтуїтивно зрозумілим та орієнтованим на користувача, який не дуже орієнтується в самому процесі моделювання у порівнянні з існуючими підходами. Кожна модель у цьому підході є конкретним екземпляром модельного класу онтології.

Онтологія формалізованих математичних моделей також містить функціональне представлення моделі у вигляді графічної інтерпретації для діагностики неточностей на основі вдосконаленої моделі. На рисунку 3.2 представлено підмножину понять і відношень, які зафіксовані в загальній онтологічній моделі.

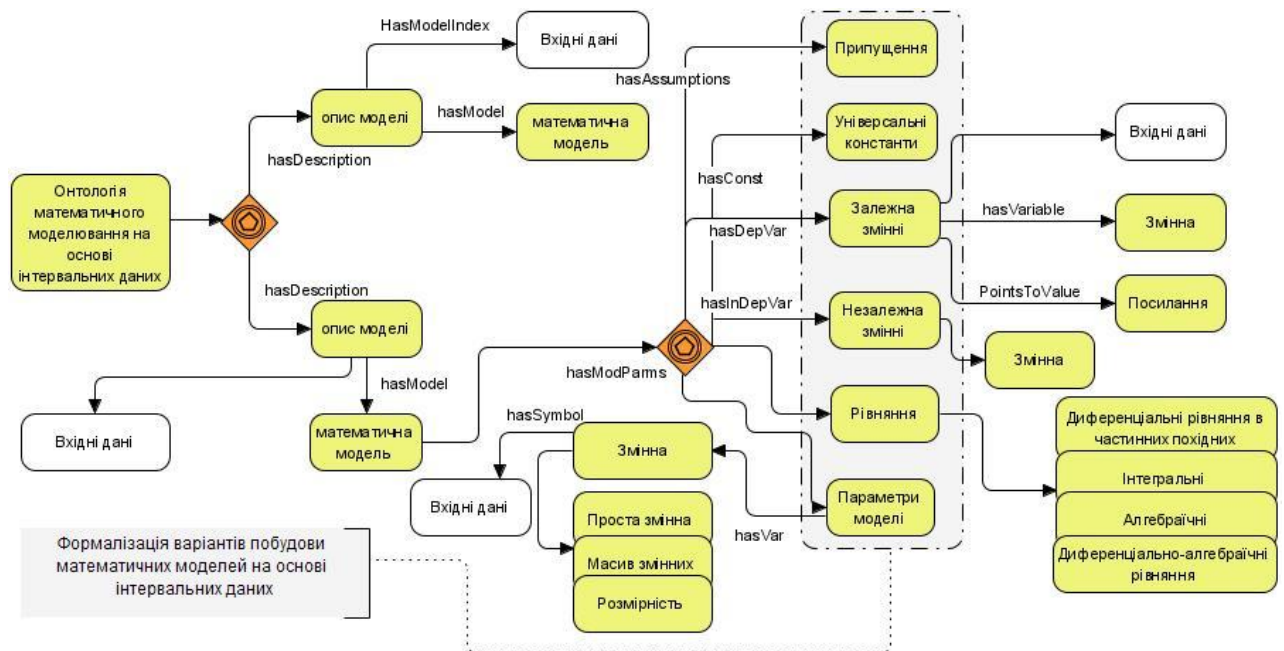


Рисунок 3.2 – Схема опису онтології математичних моделей на основі інтервальних даних

Онтологія математичної моделі складається з операційного класу, підкласами якого є різні операції, які виникають в процесі реалізації моделі, а також містять умови реалізації кожної з операцій. Ця онтологія також

складається з класу результатів, у якому зберігається результати розв'язку моделі, а також результати проведення експериментів.

Процедурна частина онтологічного підходу складається з механізму побудови на основі методів аналізу даних відношень, які аналізують рівняння в онтологічній інтерпретації математичних моделей та переводять їх у вирази, які можна інтерпретувати в інші зовнішні програмні середовища. Загальна схема такого підходу представлена на рисунку 3.3.

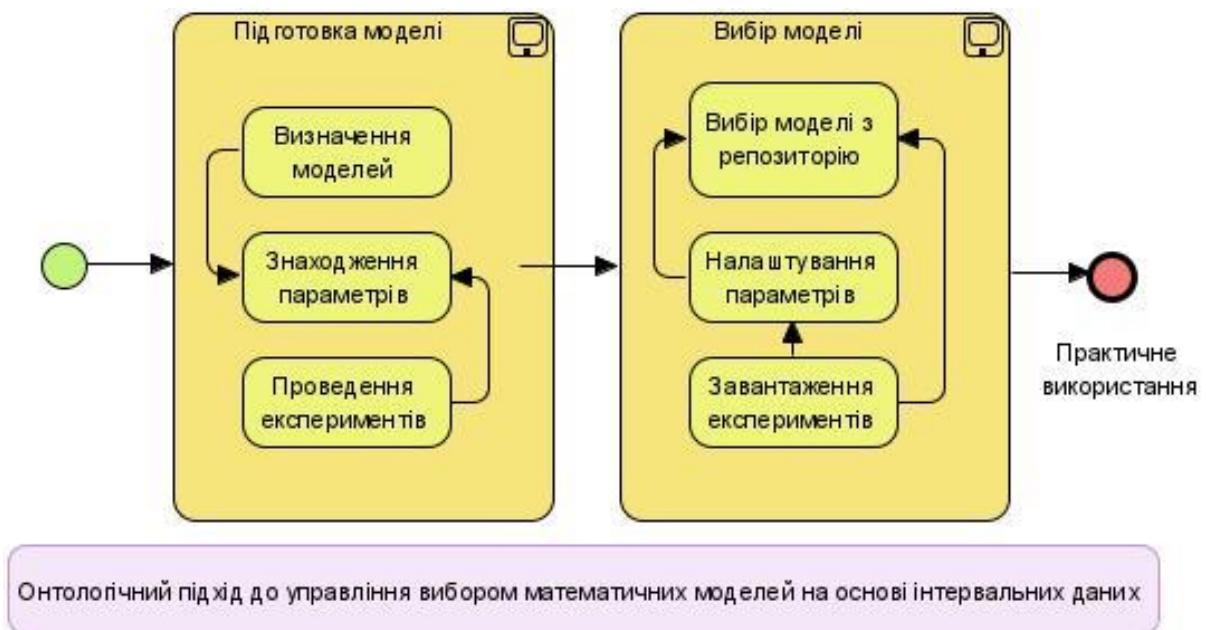


Рисунок 3.3 – Схема опису онтології математичних моделей на основі інтервальних даних

Підсистема управління процесами вибору моделей створює оператори для ініціалізації параметрів моделі з відповідними значеннями, створює асоціації між змінними індексами та величини, для яких він позначається, ініціалізує універсальні константи, збирає фактичні команди розв'язку моделі та знаходить відповідний розв'язок множини рівнянь.

Такий програмно-інтерпретований онтологічний під надає нам багато корисних функцій, включаючи можливість символічної обробки, яка безпосередньо обробляє рівняння у різних форматах та розширюється можливістю сучасних мов програмування, таких як Java.

Графічний інтерфейс користувача використовується для відображення результатів розв'язування (графіків або виразів) разом із збереженням повертається до онтології використання математичних моделей, а також використовується для вибору найкращого екземпляра моделі, яку необхідно розв'язати і яка найкраще підійде до використання в тій чи іншій практичній ситуації. Також можна змоделювати перебіг виконання тих чи інших операцій, що досить зручно для прийняття відповідних рішень.

3.2. Формалізоване представлення онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних

На основі аналізу структури математичних моделей на основі інтервальних даних, процесу моделювання та особливостей проведення експериментів, математичну модель Mm з токи зору онтологічного підходу можна формалізувати за допомогою наступних структур [49, 231]:

$$Mm = \langle Ma, Mi, Mo, Par, Mr, Mc, Mmt \rangle, \quad (3.1)$$

де Ma - предметна область, в межах якої будується, або використовується математична модель; Mi - описи математичної моделі; Mo - множина об'єктів використання моделі; Par - множина параметрів; Mr - множина, яка описує результат побудови моделей об'єктів; Mmt - множина характеристик перебігу експериментів; Mmt - множина методів ідентифікації параметрів моделей.

$$Ma = \langle IdMa, NmMa \rangle, \quad (3.2)$$

де $IdMa$ - ідентифікатор вибраної предметної області; $NmMa$ - предметна область.

Описи математичної моделі мають наступну структуру:

$$Mi = \langle IdMi, NmMi, IdMa \rangle, \quad (3.3)$$

де $IdMi$ - ідентифікатор рівняння; $NmMi$ - формалізований опис рівнянь математичної моделі;

Структура опису множини об'єктів, де може бути використана модель, має наступне представлення:

$$Mo = \langle IdMo, NmMo, IdMa, IdMi \rangle, \quad (3.4)$$

де $IdMo$ - ідентифікатор об'єкта; $NmMo$ - інформація, що описує структуру об'єкта використання моделі.

Опис кортежу набору параметрів можна представити за допомогою наступного відношення:

$$Par = \langle IdPar, PT, PV, IdMa, IdMi, IdMo \rangle, \quad (3.5)$$

де $IdPar$ - ідентифікатор параметра; PT - тип параметра; PV - значення параметрів моделі.

Представлення результатів побудови моделей об'єктів виглядає наступним чином:

$$Mr = \langle IdMr, RNm, IdMa, IdMi, IdMo \rangle, \quad (3.6)$$

де $IdMr$ - ідентифікатор результату; RNm - твердження, які описують результат.

Характеристики опису експериментів представлені наступним відношенням:

$$Mc = \langle IdMc, MA, Dsc, IdMa, NA, IdMo, IdMi, IdPar \rangle, \quad (3.7)$$

де $IdMc$ - ідентифікатор ознак, які впливають на умови проведення експериментів; MA - основні характеристики; NA - альтернативні характеристики, Dsc - твердження, яке описує умови використання математичної моделі.

Кортеж для множини методів структурної ідентифікації $SuMth$ математичної моделі представлено наступним відношенням:

$$SuMth = \langle IdMmt, NmMth, Ac, IdMth \rangle, \quad (3.8)$$

де $IdMmt$ – ідентифікатор методу; $NmMth$ – метод ідентифікації структури моделі; Ac — набір операторів, що визначає метод, $IdMth$ — ідентифікатор методу параметричної ідентифікації.

Набір методів ідентифікації параметрів моделей буде представлено наступним чином

$$Mth = \langle IdMth, NmMth, Ac \rangle, \quad (3.9)$$

де $IdMth$ – ідентифікатор методу параметричної ідентифікації моделі; $NmMth$ – метод структурної ідентифікації моделі; Ac — це множина операторів, що визначає метод.

Приклад реалізації онтологічного підходу для побудови моделей полів концентрацій шкідливих викидів у приземистому шарі атмосфери в умовах великих похибок спостережень у середовищі SmartOntologyModeller наведено на рисунку 3.4.

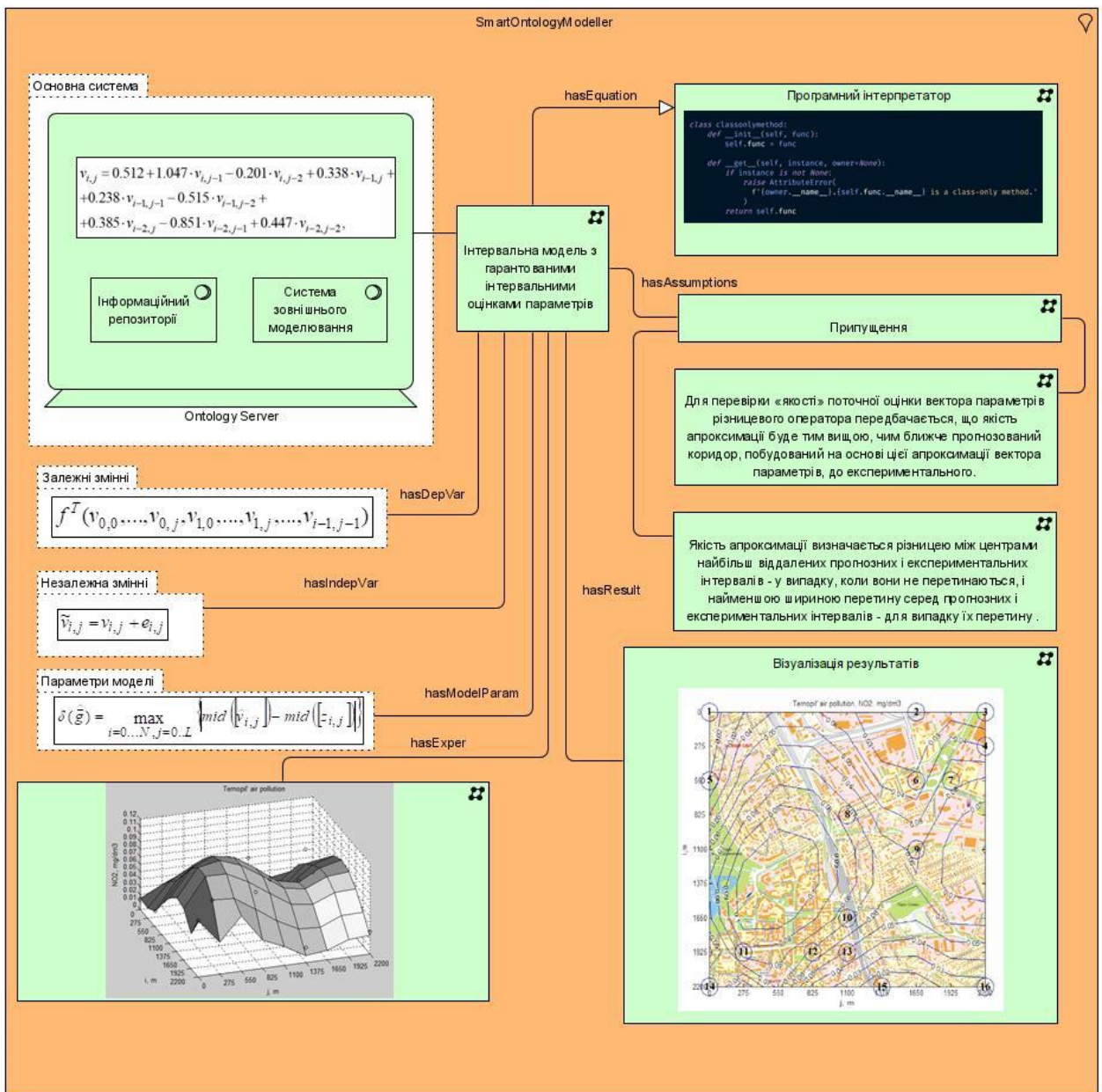


Рисунок 3.4 – Схема опису онтології математичних моделей на основі інтервальних даних

Схема формалізації математичної моделі за допомогою розробленого інструменту SmartOntologyModeller відображає основні структурні компоненти в рамках запропонованого онтологічного підходу [49, 248, 250, 253]. Як бачимо, інформаційне сховище з формалізованим описом моделі та зовнішнім середовищем моделювання, яке описує використання програмно-реалізованих моделей (в даному випадку інтервальної моделі з гарантованими інтервальними оцінками параметрів) транслюється в індексне представлення

та зберігається в атрибут *Схема формалізації математичної моделі* за допомогою розробленого інструменту *SmartOntologyModeller* відображає основні структурні компоненти в рамках запропонованого онтологічного підходу. Як бачимо, інформаційне сховище з формалізованим описом моделі та зовнішнім середовищем моделювання, яке описує використання програмно реалізованих моделей (в даному випадку інтервальної моделі з гарантованими інтервальними оцінками параметрів) транслюється в індексне представлення та зберігається в атрибут *HasEquation*. Діаграма показує залежні, незалежні змінні та параметри, які об'єднані для представлення структури інтервальної моделі з гарантованими інтервальними оцінками параметрів. У правій частині діаграми формалізовано процес використання припущень для реалізації методів, умови експериментів, рекомендації щодо використання методів та візуалізації результатів моделювання. Діаграма показує залежні, незалежні змінні та параметри, які об'єднані для представлення структури інтервальної моделі з гарантованими інтервальними оцінками параметрів. У правій частині діаграми формалізовано процес використання припущень для реалізації методів, умови експериментів, рекомендації щодо використання методів та візуалізації результатів моделювання.

3.3. Гібридний метод ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів

Виходячи із формалізації математичних моделей та схеми їх використання, яка представлена в параграфі 3.2 пропонується гібридний метод ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів в рамках онтологічного підходу, який ґрунтується на виборі математичної моделі з репозиторію в залежності специфіки предметної області, умов проведення експериментів та результируючих ознак [46, 48, 49, 231].

Вибір математичної моделі спочатку здійснюється на основі аналізу вибраної або суміжної предметної області. Для забезпечення найкращої

результативності формалізованої математичної моделі вибираємо її параметри та бажаний результат її розв'язання. Для подолання невизначеності використання математичної моделі визначаємо множину потенційних методів ідентифікації, що можуть бути використані. Взаємодія параметрів, умов перебігу та методів ідентифікації супроводжується інформаційними потоками, що дозволяють їх в майбутньому значно розширити або вдосконалити.

Як варіант використання наведеного онтологічного опису розглянемо метод вибору математичної моделі для моделювання на основі інтервальних даних.

Представимо цей метод у вигляді послідовності кроків:

1) Фіксуємо $IdMa_C$ предметної області, яка вибирається користувачем в ході використання. Позначення “_” означає префікс вибору, C - процедуру вибору. Результатом є запропонований набір математичних моделей для набору об'єктів Mo_C .

2) Вибираємо об'єкт використання математичної моделі. Формальний опис цієї процедури наступний:

$$Mo_C = \pi_{IdMo, NmMo} \left(\sigma_{Mo(Idma)=IdMa_C \wedge Mo(IdMi)=IdMi_C} (\tau(Mo)) \right), \quad (3.10)$$

де π – операція проекції алгебри кортежів, σ – операція вибірки з множини за заданими атрибутами та умовами, τ – операція впорядкування за значеннями відповідних атрибутів. Повний перелік операцій алгебри кортежів представлено в Додатку А.

Результатом операції є вибраний об'єкт із набором можливих моделей, якщо такі є в репозиторії.

3) Вибираємо умови застосування моделі за наступною формальною процедурою

$$Mc_C = \pi_{IdMc, Dsc, IdPar} \left(\sigma_{\substack{Mc(Idma)=IdMa_C \wedge Mc(IdMi)= \\ =IdMi_C \wedge Mc(IdMo)=IdMo_C}} (Mc) \right). \quad (3.11)$$

4) Вибір моделі. Цей процес здійснюємо за допомогою наступної процедури

$$Mi_C = \pi_{IdMi, IdMc, NmMi} \left(\sigma_{Mi(IdMa)=IdMa_C \wedge Mc(IdMc)}(\tau(Mi)) \right). \quad (3.12)$$

5) Щоб вибрати Mi_C і Mb_C , формується набір, який представляє результати побудови об'єктних моделей за допомогою наступного опису:

$$Mr_C = \pi_{IdMr, RNm} \left(\sigma_{Mr(IdMa)=IdMa_C \wedge Mr(IdMi)=IdMi_C \wedge Mr(IdMo)=IdMo_C}(\tau(Mr)) \right). \quad (3.13)$$

Якщо в репозиторії немає адекватних моделей для опису об'єкта, продовжуємо процес побудови моделі.

6) Вибір умов застосування моделі (характеристики проведення експерименту):

$$Mc_C = \pi_{IdMc, Dsc, IdPar} \left(\sigma_{Mc(IdMa)=IdMa_C \wedge Mc(IdMi)=IdMi_C \wedge Mc(IdMo)=IdMo_C}(Mc) \right). \quad (3.14)$$

7) Користувач обирає метод ідентифікації структури моделі за наступною процедурою

$$Mmt_C = \pi_{IdMmt, IdMth} \left(\sigma_{Mmt(IdMa)=IdMa_C \wedge Mmt(IdMi)=IdPi_C \wedge Mmt(IdMo)=IdMo_C \wedge Mmt(IdPar)=Par_C}(Mmt) \right) \quad (3.15)$$

8) Визначаємо структуру моделі та відповідну множину параметрів моделі

$$SuMth_C = \pi_{IdMmt, Ac, IdMth} \left(\begin{array}{l} \sigma_{SuMth(IdMa)=IdMa_C \wedge SuMth(IdMi)=}(\tau(SuMth)) \\ =IdMi_C \wedge SuMth(IdMo)= \\ =IdMo_C \wedge SuMth(IdMth)=IdPar_C \end{array} \right) \quad (3.16)$$

$$Par_C = \pi_{IdPar, Ac} \left(\begin{array}{l} \sigma_{Par(IdMa)=IdMa_C \wedge Par(IdMi)=}(\tau(Par)) \\ =IdMi_C \wedge Par(IdMo)=IdMo_C \end{array} \right). \quad (3.17)$$

Результатом цієї операції є множина моделей для відповідних вибраних об'єктів в рамках досліджуваної предметної області.

9) Для деяких Mi і Mo формується множина, яка описує результати побудови моделі:

$$Mr_C = \pi_{IdMr, RNm} \left(\begin{array}{l} \sigma_{Mr(IdMa)=IdMa_C \wedge Mr(IdMi)=}(\tau(Mr)) \\ =IdMi_C \wedge Mr(IdMo)=IdMo_C \end{array} \right). \quad (3.18)$$

Виконання кроків 1-5 дає можливість вибрати адекватну модель опису досліджуваного об'єкта в репозиторії інтервальних математичних моделей. Кроки 1, 2, 6-9 використовуються у разі відсутності математичних моделей у репозиторії.

Запропонований метод дозволяє вибрати модель з відповідними параметрами, яка найкраще задовольняє відповідні умови, описує ситуацію і знаходиться у досліджуваній або суміжній із досліджуваною предметній області, а запропонований онтологічний опис дає можливість розробити функціональне програмне середовище для моделювання на основі інтервальних даних.

3.4. Дослідження особливостей вибору математичної моделі з репозиторію інтервальних моделей

Практична реалізація онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних призводить до формування загальних структурних

елементів, виходячи зі специфіки їх використання для конкретної предметної галузі [49, 231].

У наступному параграфі описано практичну реалізацію програмного забезпечення як одного з варіантів використання розробленого репозиторію модельних експериментів у різних предметних галузях у рамках запропонованого онтологічного підходу.

Як приклад застосування онтологічного підходу розглядається задача побудови моделей полів концентрацій шкідливих викидів у приземистому шарі атмосфери на основі макромоделей у вигляді різницевих операторів, структуру яких необхідно вибрати за умов узгодження з експериментальними даними і при великих помилках у спостереженнях [48, 225, 250].

Теоретичною основою для моделювання процесів розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері є диференціальні рівняння в частинних похідних або відповідні різницеві аналоги. Крім того, через великі похибки спостереження, межі яких зазвичай відомі, різницеві оператори будуються на основі методів інтервального аналізу даних.

Розглянемо випадок опису поля концентрацій шкідливих викидів речовини в приземистому шарі атмосфери макромоделлю у вигляді різницевого оператора (3.19):

$$v_{(i,j)} = f^T(v_{0,0}, \dots, 0, \dots, v_{0,j}, v_{1,j}, \dots, v_{(1,j)}, \dots, v_{i-1,j-1}) \cdot \vec{g}, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, L. (3.19)$$

де в нашому випадку $v_{(i,j)}$ – прогнозоване (дійсне) значення концентрації шкідливих речовин у приземистому шарі атмосфери в точці міста з дискретними координатами i, j ; \vec{g} - вектор параметрів різницевого оператора.

Для оцінки вектора параметрів \vec{g} різницевого оператора використаємо результати спостережень концентрації шкідливих речовин для заданих дискретних координат i, j :

$$\tilde{v}_{i,j} = v_{i,j} + e_{i,j}, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, L. \quad (3.20)$$

де $\tilde{v}_{i,j}$ – вимірне значення концентрації шкідливих речовин у приземистому шарі атмосфери в точці міста з дискретними координатами i, j ; $e_{i,j}$ – випадкові, обмежені помилками амплітуди.

$$|e_{1,j}| = |e_{2,j}| = \dots = |e_{i,j}| \leq \Delta_{i,j}, \Delta_{i,j} > 0 \forall i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, L. \quad (3.21)$$

які в загальному випадку залежать від дискретних значень просторових координат.

За допомогою моделі спостережень (3.20) та з урахуванням обмеження на амплітуду похибки (3.21) оцінки концентрації шкідливих речовин, отримані на основі експериментальних даних, набувають інтервального представлення.

$$[z_{(i,j)}^-, z_{(i,j)}^+] = \left[(\tilde{v}_{i,j} - \Delta_{i,j}); (\tilde{v}_{i,j} + \Delta_{i,j}) \right], i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, L. \quad (3.22)$$

де $[z_{(i,j)}^-, z_{(i,j)}^+]$ — це гарантований інтервал, який включає справжню невідому концентрацію речовини, тобто

$$v_{i,j} \in [z_{(i,j)}^-, z_{(i,j)}^+] = \forall i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, L.. \quad (3.23)$$

Тоді, підставляючи у вираз (3.19) значення $v_{i,j}$, яке задається різницеvim оператором (3.20), отримують умови узгодження експериментальних значень концентрацій із змодельованими.

$$z_{(i,j)}^- \leq f^T(v_{0,0}, \dots, 0, \dots, v_{0,k}, v_{1,0}, \dots, v_{(1,j)}, \dots, v_{i,j}) \cdot \vec{g} \leq z_{(i,j)}^+ \quad i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, L.. \quad (3.24)$$

Далі, згідно з запропонованим у параграфі 3.3. методом, необхідно вирішити задачу структурно-параметричної ідентифікації моделі за допомогою алгоритмів ABC.

Одна з вихідних структур, сформованих на основі онтологічного опису, має наступний вигляд:

$$v_{i,j} = g_1 + g_2 \cdot v_{i-1,j} + g_3 \cdot v_{i,j-1} + g_4 \cdot v_{i-1,j-1}. \quad (3.25)$$

Отримано різницевий оператор, що описує розподіл концентрацій діоксиду азоту, який знайдено в результаті розв'язання задачі структурно-параметричної ідентифікації:

$$v_{i,j} = 0.512 + 1.047 \cdot v_{i,j-1} - 0.201 \cdot v_{i,j-2} + 0.338 \cdot v_{i-1,j} + 0.238 \cdot v_{i-1,j-1} - \\ - 0.515 \cdot v_{i-1,j-2} + 0.385 \cdot v_{i-2,j} - 0.851 \cdot v_{i-2,j-1} + 0.447 \cdot v_{i-2,j-2}. \quad (3.26)$$

Отримані таким чином математичні моделі зберігаються в репозиторії. Якщо змінюється об'єкт, то в цілому схема ідентифікації залишається незмінною.

У репозиторії інтервальних математичних моделей знаходяться екземпляри не тільки для прогнозування просторового розподілу концентрацій діоксиду азоту для різних умов, а й для прогнозування динаміки цієї шкідливої речовини або динаміки оксиду вуглецю для різних умов. Однак для їх ефективного використання необхідно отримати правильний онтологічний опис [49, 231, 250].

На основі розробленого методу онтологічного опису математичного моделювання об'єктів на основі інтервальних даних програмно реалізовано особливості наповнення онтології. Деякі результати такого опису наведено на рисунках 3.5-3.7.

Зокрема, на рисунку 3.5 представлено приклад пошуку математичної моделі прогнозування динаміки добового циклу зміни концентрації оксиду вуглецю в репозиторії інтервальних математичних моделей в середовищі SmartOntologyModeller.

SmartOntologyModeller Інтервальні моделі Репозиторій мод...

- Очистити вибір моделей
- Відкрити
- Зберегти
- Підключитися до середовища моделювання
- Експортувати опис моделі
- Завантажити як
- Попередній перегляд
- Вибір моделі
- Налаштування репозиторію
- Допомога & Зв'язок
- Увійти

Атрибут	Опис	Значення
<i>Ma</i>	предметна область	Шкідливі викиди
		Забруднення атмосфери
<i>Mi</i>	описи математичної моделі	Викиди транспортних засобів
		$[\hat{v}_j^-, \hat{v}_j^+] = \hat{g}_1 \cdot [\hat{v}_{k-1}^-, \hat{v}_{k-1}^+] + \hat{g}_2 \cdot ([\hat{v}_{k-2}^-, \hat{v}_{k-2}^+] - [\hat{v}_{k-1}^-, \hat{v}_{k-1}^+])$ $[\hat{v}_0^-, \hat{v}_0^+] \in [52,25;57,75], [\hat{v}_1^-, \hat{v}_1^+] \in [44,65;49,35],$ $\hat{g}_1 = 0,8897; \hat{g}_2 = -0,0261.$
<i>Mo</i>	набір характеристик об'єкта	розподіл концентрації оксиду вуглецю
		пряма ділянка вулиці
		рівномірний транспортний потік
		постійна емісійна здатність
<i>Attr</i>	набір параметрів	\hat{v}_k^- – концентрація CO в k момент часу
		x_k це відстань
		u_k – це інтенсивність транспортних потоків
		z_k є вимірною концентрацією
		$[v_k] = [v_k^-, v_k^+]$ – інтервальні значення концентрації оксиду вуглецю
<i>Mr</i>	множина можливих результатів	прогнозована динаміка добового циклу зміни концентрації оксиду вуглецю
		концентрація оксиду вуглецю в межах похибок спостереження
		набір інтервальних моделей процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту
<i>Mc</i>	множина характеристик експериментів	похибка вимірювання концентрації оксиду вуглецю 25%
		добовий цикл концентрації шкідливих викидів автотранспорту
		зміна інтенсивності транспортних потоків
<i>Mmt</i>	множина методів ідентифікації	ідентифікація за допомогою процедури випадкового пошуку з лінійною тактикою
		ідентифікація з процедурою випадкового пошуку за найкращою спробою
		ідентифікація за допомогою процедури випадкового пошуку за допомогою прямого конуса
		ідентифікація за допомогою процедури випадкового пошуку з адаптацією розподілу випадкового кроку
		ідентифікація на основі моделі поведінки бджолоїної сім'ї

Моделі
Підключення до репозиторію

⏪ ⏩ 6 / 6 ⏪ ⏩

Рисунок 3.5 – Математична модель прогнозування динаміки добового циклу зміни концентрації оксиду вуглецю в репозиторії

На рисунку 3.6 представлено приклад пошуку математичної моделі динаміки концентрацій діоксиду азоту в репозиторії інтервальних математичних моделей в середовищі SmartOntologyModeller.

SmartOntologyModeller Інтервальні моделі Репозиторій мод...

- ✕ Очистити вибір моделей
- 🔍 Відкрити
- 💾 Зберегти
- 🔗 Підключитися до середовища моделювання
- 📄 Експортувати опис моделі
- ⬇️ Завантажити як
- 🖨️ Попередній перегляд

- 🔄 Вибір моделі
- ⚙️ Налаштування репозиторію
- ❓ Допомога & Зв'язок

- 🏠 Увійти

Атрибут	Опис	Значення
Ma	предметна область	Шкідливі викиди
		Забруднення атмосфери
		Викиди транспортних засобів
Mi	описи математичної моделі	$\hat{v}_k = 0,0149 - 0,5788\hat{v}_{k-2} + 0,7425\hat{v}_{k-3} + 0,046\hat{v}_{k-1}/\hat{v}_{k-4}, k=4, \dots, 18$
		$\hat{v}_k = 0,124 - 0,5764\hat{v}_{k-2} + 0,7078\hat{v}_{k-3} + 0,0473\hat{v}_{k-1}/\hat{v}_{k-4} + 0,0159\hat{v}_{k-1}\hat{v}_{k-2}/\hat{v}_{k-1}, k=4, \dots, 18$
		$\hat{v}_k = 0,0226 - 0,6114\hat{v}_{k-2} + 0,7781\hat{v}_{k-3} + 0,037\hat{v}_{k-1}/\hat{v}_{k-4} + 0,0282\hat{v}_{k-1}\hat{v}_{k-4}/\hat{v}_{k-2}, k=4, \dots, 18$
Mo	набір характеристик об'єкта	динаміка концентрацій діоксиду азоту
		рівномірна інтенсивність
		транспортних потоків
		пряма ділянка вулиці
Attr	набір параметрів	\hat{v}_k – концентрацією NO ₂ в момент часу k
		u_k – це інтенсивність транспортних потоків
		x_k це відстань
Mr	множина можливих результатів	інтервали прогнозованих значень концентрацій діоксиду азоту
		інтервали виміряних значень концентрацій діоксиду азоту
		інтервальна модель з більш простою структурою
Mc	множина характеристик експериментів	похибка вимірювання концентрацій діоксиду азоту 15%
		контролювати інтенсивність транспортних потоків
		рівномірний період вимірювань

Моделі
Підключення до репозиторію

⏪ 5 / 6 ⏩

Рисунок 3.6 – Математична модель прогнозування динаміки концентрацій діоксиду азоту для прямої ділянки вулиці

На рисунку 3.7 представлено приклад пошуку математичної моделі динаміки концентрацій діоксиду азоту для центральної частини міста в репозиторії інтервальних математичних моделей в середовищі SmartOntologyModeller. Для реалізації пошуку програмно реалізовано відповідні форми, які також містять можливості формування відповідних логічних операцій, які в комплексі дозволяють будувати складні пошукові запити.

Зміна набору характеристик об'єкта при інших зафіксованих значеннях атрибутів дозволяє більш точно вибрати необхідну модель із репозиторію інтервальних математичних моделей, відповідні результати відображені на рисунках 3.6 та 3.7, де в якості змінюваних характеристик об'єкта обрано зміну властивостей спостережуваних ділянок вулиці.

SmartOntologyModeller Інтервальні моделі Репозиторій мод...

- ✕ Очистити вибір моделей
- 🔍 Відкрити
- 💾 Зберегти
- 🔗 Підключитися до середовища моделювання
- 📄 Експортувати опис моделі
- ⬇️ Завантажити як
- 🖨️ Попередній перегляд
- 🏠 Вибір моделі
- ⚙️ Налаштування репозиторію
- ❓ Допомога & Зв'язок
- 🏠 Увійти

Атрибут	Опис	Значення
Ma	предметна область	Шкідливі викиди
		Забруднення атмосфери
		Викиди транспортних засобів
Mi	описи математичної моделі	$v_{i,j} = 0.512 + 1.047 \cdot v_{i,j-1} - 0.201 \cdot v_{i,j-2} + 0.338 \cdot v_{i-1,j} + 0.238 \cdot v_{i-1,j-1} - 0.515 \cdot v_{i-1,j-2} + 0.385 \cdot v_{i-2,j} - 0.851 \cdot v_{i-2,j-1} + 0.447 \cdot v_{i-2,j-2}$
		розподіл концентрацій діоксиду азоту
Mo	набір характеристик об'єкта	рівномірна інтенсивність транспортних потоків
		центральна частина міста
Attr	набір параметрів	\bar{v}_x є концентрацією NO ₂ в точці з дискретними координатами i, j
		x_k це відстань
Mr	множина можливих результатів	інтервали прогнозованих значень концентрацій діоксиду азоту
		інтервали виміряних значень концентрацій діоксиду азоту
		інтервальна модель з більш простою структурою
Mc	множина характеристик експериментів	похибка вимірювання концентрацій діоксиду азоту 15%
		рівномірний період вимірювань

Моделі
Підключення до репозиторію

⏪ ⏩ 4 / 6 ⏪ ⏩

Рисунок 3.7 – Математична модель прогнозування динаміки концентрацій діоксиду азоту для центральної частини міста

На основі методу вибору математичної моделі в рамках онтологічного підходу для моделювання на основі інтервальних даних можливе перемикання моделей з інформаційного сховища в залежності від умов і специфіки відповідних експериментальних досліджень. Можливість контролювати процес перемикання була практично реалізована в веб-орієнтованій інформаційній системі SmartOntologyModeller. Розглянемо детальніше послідовність вибору математичної моделі з репозиторію.

На рисунках 3.5-3.7 результуюча таблиця містить три колонки, які відповідають опису онтологічної моделі, а саме: “Атрибут”, “Опис”, “Значення”. Ці структурні елементи являють собою: предметну область, об’єкт, умови моделювання (дві групи умов), змінні тощо. Також для

зазначених умов застосування існує репозиторій моделей (на рисунках наведено 3 таких моделі).

Таким чином, маючи сховище для зазначеного об'єкта (концентрації шкідливих викидів у приземистому шарі атмосфери), можна застосувати перші п'ять кроків описаного вище методу вибору математичної моделі для моделювання на основі інтервальних даних:

Крок 1. Вибір предметної області: $IdMa_C$ «забруднення приземистого шару атмосфери шкідливими викидами автотранспорту».

Крок 2. Вибір об'єкта моделювання Mo_C – «концентрація викидів діоксиду азоту від транспортних засобів».

Крок 3. Вибір умов для застосування моделі Mc_C «похибка вимірювання концентрації діоксиду азоту на рівні 15%; контроль інтенсивності руху; рівномірний період вимірювань».

Крок 4. Вибір моделі з репозиторію для апроксимації полів концентрацій викидів діоксиду азоту від автотранспорту м. Тернопіль з урахуванням результатів, отриманих на попередніх кроках представлено на рисунку 3.8.

Атрибут	Опис	Значення
M_i	описи математичної моделі	$v_{i,j} = 0.512 + 1.047 \cdot v_{i,j-1} - 0.201 \cdot v_{i,j-2} + 0.338 \cdot v_{i-1,j} + 0.238 \cdot v_{i-1,j-1} - 0.515 \cdot v_{i-1,j-2} + 0.385 \cdot v_{i-2,j} - 0.851 \cdot v_{i-2,j-1} + 0.447 \cdot v_{i-2,j-2}$

Моделі

Рисунок 3.8 – Результат вибору математичної моделі для апроксимації полів концентрацій викидів діоксиду азоту від автотранспорту

Крок 5. Для отриманої моделі також можна отримати табличні та візуальні результати її використання з репозиторію. Наприклад, у таблиці на рисунку 3.9 порівнюються результати прогнозування концентрації діоксиду азоту та виміряні результати в контрольних точках.

SmartOntologyModeller Інтервальні моделі Репозиторій мод...

Очистити вибір моделей

Відкрити

Зберегти

Підключитися до середовища моделювання

Експортувати опис моделі

Завантажити як

Попередній перегляд

Вибір моделі

Налаштування репозиторію

Допомога & Зв'язок

Увійти

Результати прогнозування концентрацій діоксиду азоту

Point No	i	x_i, m	j	y_j, m	$v^-_{ij}, mg/dm^3$	$v^+_{ij}, mg/dm^3$
1	0	0	0	0	0.011	0.019
2	0	0	6	1650	0.015	0.025
3	0	0	8	2200	0.015	0.025
4	1	275	8	2200	0.030	0.050
5	2	550	0	0	0.015	0.025
6	2	550	6	1650	0.015	0.025
7	2	550	7	1925	0.057	0.095
8	3	825	4	1100	0.065	0.109
9	4	1100	6	1650	0.045	0.075
10	6	1650	4	1100	0.069	0.115
11	7	1925	1	275	0.065	0.109
12	7	1925	3	825	0.068	0.113
13	7	1925	4	1100	0.036	0.060
14	8	2200	0	0	0.056	0.094
15	8	2200	5	1375	0.015	0.025
16	8	2200	8	2200	0.023	0.038

Переглянути результати Повернутися до вибору

4 / 6

Рисунок 3.9 – Перегляд результатів прогнозування концентрацій діоксиду азоту в контрольних точках

На рисунку 3.10 наведено приклад перемикання шляхом вибору математичної моделі на основі інтервальних даних в залежності від зміни предметних характеристик моделі. Перемикання відбувається шляхом зміни умов середовища моделювання.

Слід зазначити, що у випадку виконання іншої задачі, наприклад, моделювання динаміки концентрацій шкідливих викидів оксиду вуглецю протягом доби в певному районі міста та наявного сховища цих моделей, схема застосування методу вибору математична модель для моделювання на основі інтервальних даних буде такою ж. Однак на п'ятому кроці результати будуть представлені адекватно обраному об'єкту.

SmartOntologyModeller Ontology of math...

Vector Polygon

Conics

Tools

Ellipse

Parabola

Transform

Translate by Vector

Reflect about Line

Dilate from Point

Media

Image

Others

Pen

Relation

Temppil' air pollution: NO₂ mg/m³

Conditions

Carbon monoxide

nitrogen dioxide

Conditions for the experiment: measurement error 15%

Intensity of traffic flows: control

Mathematical description of the model

$$v_{i,j} = 0.512 + 1.047 \cdot v_{i,j-1} - 0.201 \cdot v_{i,j-2} + 0.338 \cdot v_{i-1,j} + 0.238 \cdot v_{i-1,j-1} - 0.515 \cdot v_{i-1,j-2} + 0.385 \cdot v_{i-2,j} - 0.851 \cdot v_{i-2,j-1} + 0.447 \cdot v_{i-2,j-2}$$

Choose model

Intervals of predicted values of nitrogen dioxide concentrations

Intervals of measured values of concentrations of nitrogen dioxide

interval model with a simpler structure

Visualization of experiments

Рисунок 3.10 – Приклад перемикання математичної моделі в залежності від зміни контрольних характеристик та умов проведення експериментів у середовищі SmartOntologyModeller.

Точність моделі динаміки забруднення атмосфери автотранспортом характеризується еквівалентною точністю вимірювального експерименту. При зміні умов експерименту може змінитися і точність моделі. Перевагою запропонованого підходу є економія ресурсів, яка досягається за рахунок повторного використання розробленої моделі сховища для відповідних об'єктів з репозиторію.

На рисунку 3.11 наведені результати відповідного перемикання, пов'язані зі зміною умов відстеження транспортних потоків та за характеристиками досліджуваної ділянки вулиці.

Підключений набір інструментів Python дозволяє користувачеві вибрати зразок моделі та відповідний операційний приклад, після чого оператори можуть будувати за допомогою відповідних бібліотек, які інтерпретують рівняння з відформатованих, індексованих частин, ініціалізують параметри

моделі на основі відповідного зразка операції, і, нарешті, дозволити моделі створити необхідне рішення.

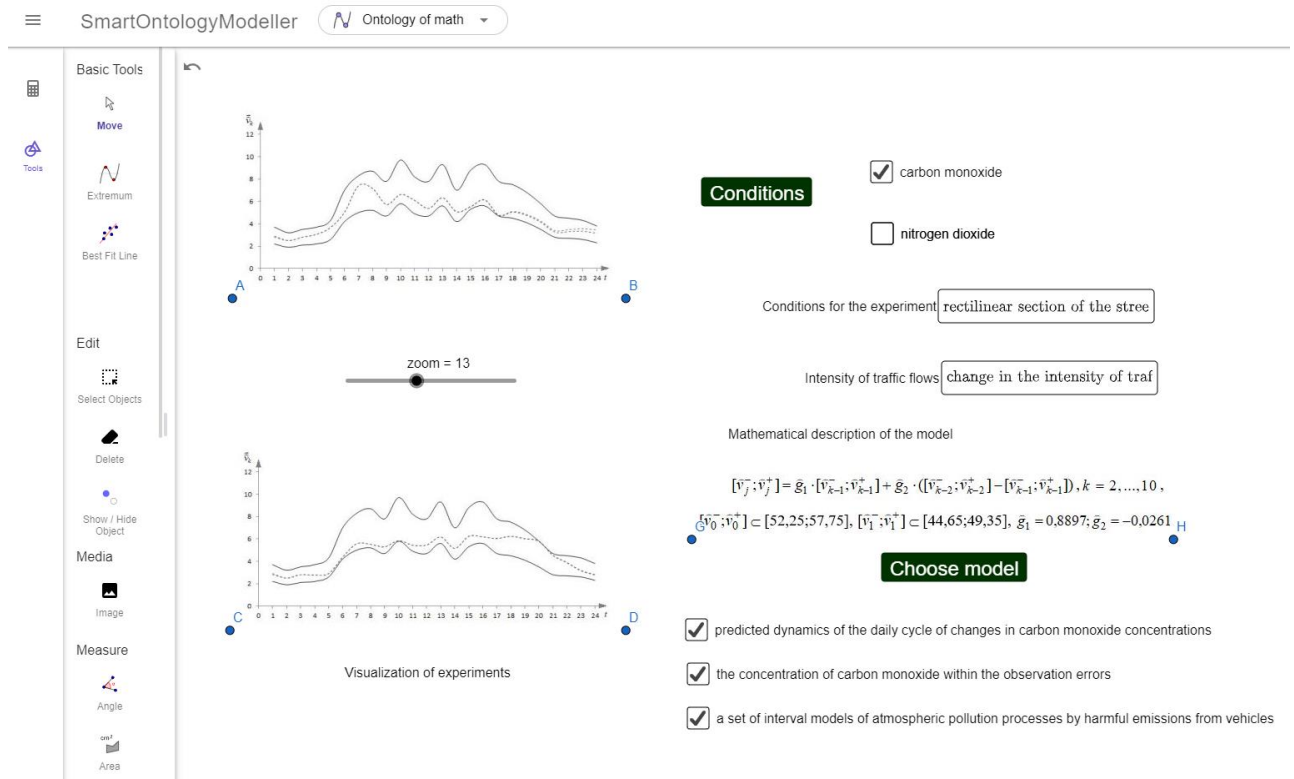


Рисунок 3.11 – Приклад перемикання математичної моделі внаслідок зміни умов середовища моделювання або умов відповідного експерименту

При обчисленні результати інтерпретуються у відповідному графічному інтерфейсі за допомогою графіків, таблиць, результуючих файлів, а також інших результатів, які зберігаються в операційній частині математичної моделі з відповідними уточненнями. Таке доопрацювання дозволяє підбирати правильні моделі залежно від специфіки умов експериментів та відповідної предметної області.

Очевидно, що у порівнянні з відомими методами структурної ідентифікації, розроблений метод структурної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів ефективніший (рисунки 3.12).

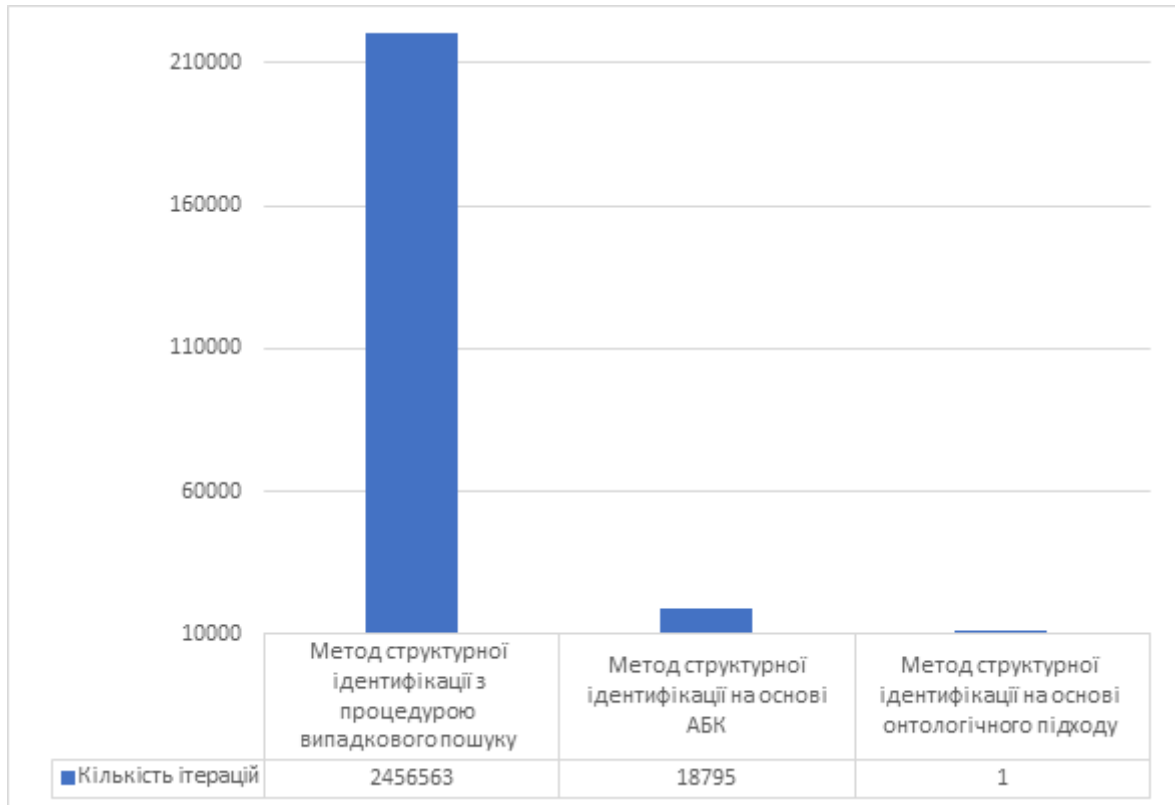


Рисунок 3.12 – Результати порівняння обчислювальної складності реалізації методу структурної ідентифікації математичної моделі динаміки забруднення атмосфери автотранспортом

При знаходженні структури моделі у репозиторії для подібних за функціонуванням об'єктів обчислювальна складність зменшується у 18795 разів за рахунок уникнення процедури структурної ідентифікації.

3.5. Дослідження особливостей виділення нелінійного елемента математичної моделі з репозиторію інтервальних моделей

Проблемою застосування підходу, який представлений у параграфах 3.1-3.3 є складність використання побудованої інтервальної моделі у випадку інших умов середовища. Наприклад, у репозиторії представлено застосування зазначеного методу для побудови моделі поширення забруднень шкідливих викидів автотранспорту із використанням моделювання добового циклу динаміки

концентрацій шкідливих викидів NO₂ (діоксид азоту) на перехресті вулиць Руська – Замкова – Шашкевича, м. Тернопіль.

Результати експериментів показали, що побудована у праці модель динаміки концентрацій діоксиду азоту не є універсальною, тобто не може бути використана для моделювання в інших точках міста, а бо за інших погодних умов. Це пов'язано із неврахуванням дії різних в тому числі і випадкових чинників, які є характерними для конкретної точки у якій здійснюється моделювання. До такого виду чинників відносять: природна вентиляція; наявність вертикальних та горизонтальних потоків повітря тощо.

Таким чином, для підвищення прогностичних властивостей моделей пропонується модифікувати вищеописаний підхід із використанням нелінійного елементу в моделі, який виконує функцію перемикача для обрання адекватної моделі, в залежності від умов її застосування [48, 248, 250].

На рисунку 3.13 представлено схему взаємодії між зовнішніми інформаційними системами, середовищем моделювання, інформаційним репозиторієм та онтологічно-керованою підсистемою.

В інформаційному репозиторію зберігається база напрацьованих математичних моделей, яка включає такі основні компоненти: формалізовані математичні моделі (рівняння, функції, параметри, константи); графічна інтерпретація результатів моделювання (графіки, таблиці, різноманітні схеми); результати проведення експериментальних досліджень (опис предметної області, характеристики перебігу експериментів, результати застосування моделей).

Програмна онтологічно-керована система SmartOntologyModeller містить реалізацію декларативної та операційної онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу, а також включає підсистему взаємодії із зовнішніми інформаційними системами та підсистему комунікації з інформаційними репозиторієм з метою повторного використання математичних моделей та побудову нових.

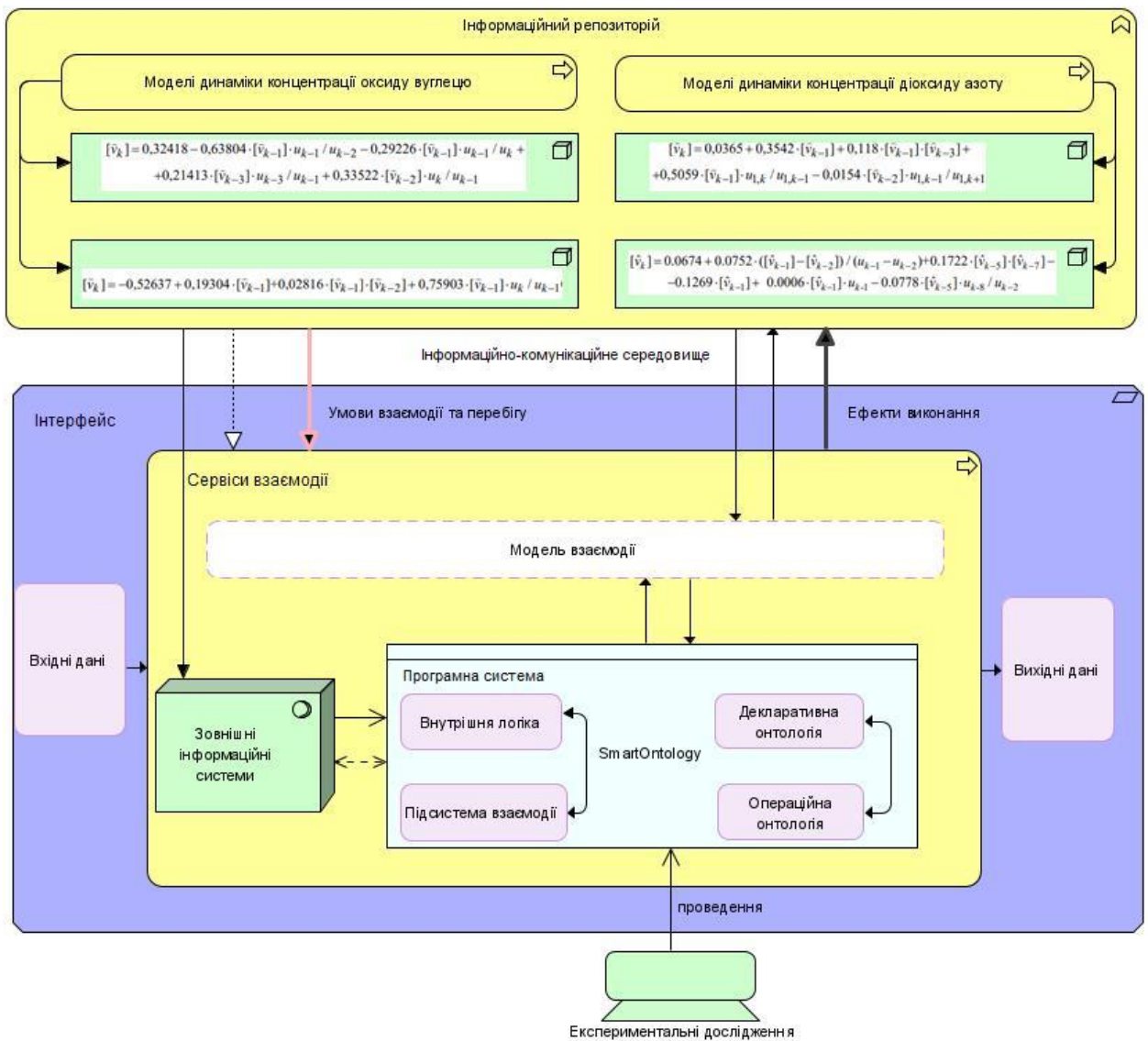


Рисунок 3.13 – Схема реалізації взаємодії онтологічно-керованої системи із зовнішніми інформаційними системами та відповідним інформаційним репозиторієм

Модель взаємодії програмних підсистем слугує для отримання інформації про принципи взаємодії, які виникають в процесі операції побудови та використання математичних моделей. Сюди відносять інформацію про протоколи взаємодії, структуру пакетів для обміну даними та правила управління відповідним обміном.

Важливим елементом у цьому підході є онтологічна модель предметної області, яка враховує різні умови застосування інтервальних моделей. Розглянемо цей підхід детальніше.

Онтологічно-керована система інтерпретує знання, які отримані в процесі використання інтервальних математичних моделей. Ці знання можна розділити на декларативну та процедурну частини.

Декларативна частина складається з інформації, яка необхідна для реалізації розв'язку моделі, інформації отриманої з моделі та відповідні рівняння моделі. Процедурна частина складається з деталізованих особливостей моделі, відповідних використовуваних методів та алгоритмів пошуку розв'язків, ініціалізації змінних та їх відповідна інтерпретація.

Онтологічний підхід, забезпечує побудову моделі представлення предметної області, та слугує своєрідним нелінійним елементом інтервальної дискретної моделі, побудованої на основі аналізу інтервальних даних для розширення сфери застосування простіших моделей у певній предметній області.

Як зазначалося вище, для підвищення прогностичних властивостей моделей із забезпечення адекватності та достатньої для прийняття рішень точності поряд із методами управління вибором моделей із інформаційного репозиторію, пропонується модифікувати онтологічний підхід із використанням нелінійного елемента в моделі. Такий елемент слугуватиме засобом перемикання в процесі вибору адекватної математичної моделі в залежності від умов її застосування.

На рисунку 3.14 представлено схему виділення нелінійного елемента математичної моделі із врахуванням основних його особливостей. Розглянемо ці особливості більш детально.

Процес виділення нелінійного елемента повинен знаходитися в домені основних його характеристик та характеристик математичної моделі. До основних характеристик самого нелінійного елемента необхідно віднести:

- формуючі параметри, які можуть містити як вхідні, так і вихідні дані та які можна отримувати як і з інформаційного репозиторію, так і в процесі взаємодії із зовнішніми інформаційними системами;

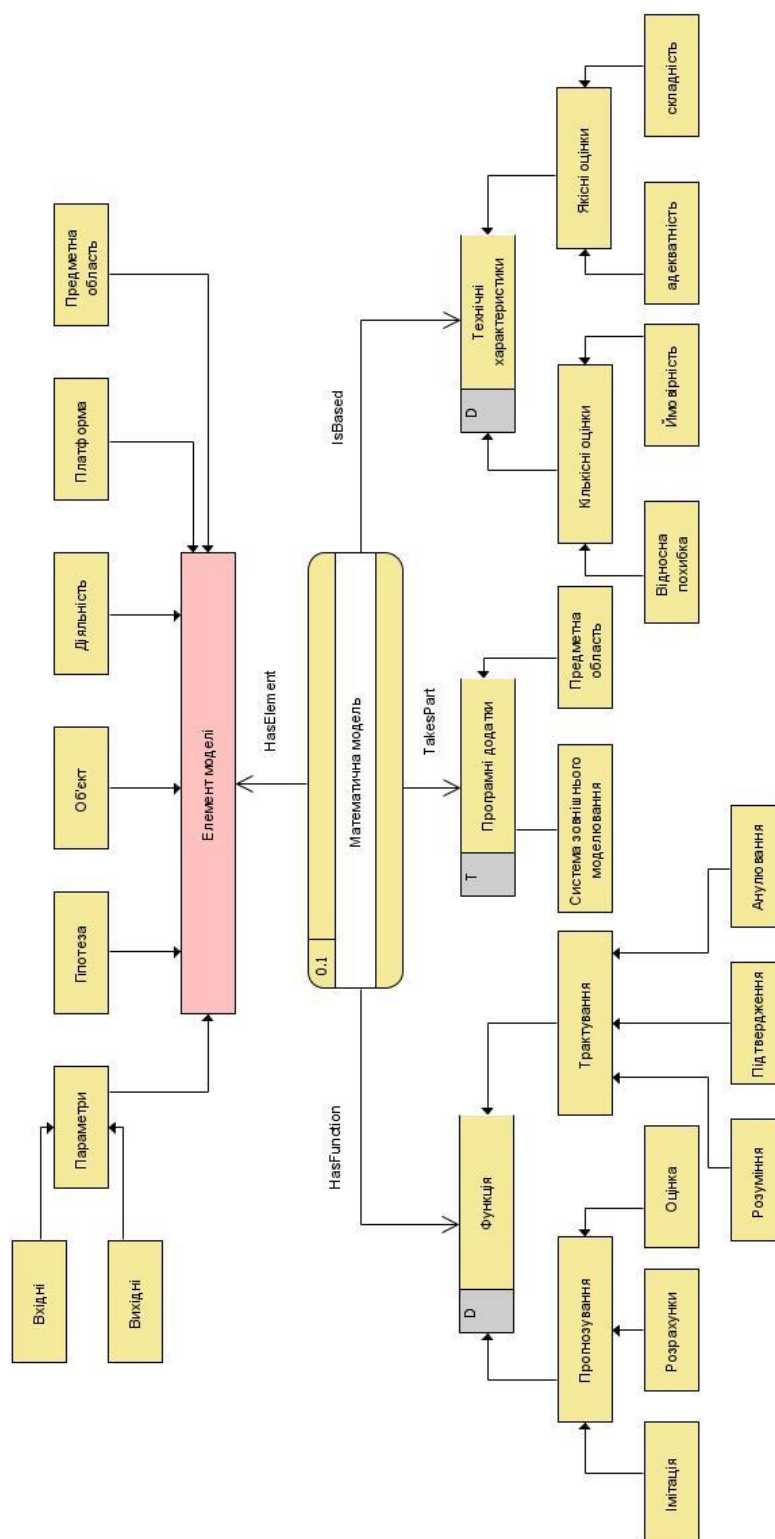


Рисунок 3.14 – Схема виділення нелінійного елемента інтервальної математичної моделі із врахуванням основних його особливостей та особливостей моделі

- гіпотези, які описують основні варіанти використання вибраного нелінійного параметра, а також інші специфічні припущення;

- об'єкти, які дозволяють виділити основні властивості досліджуваних характеристик та сформувані основні цілі його впливу;
- дії, які визначають можливий набір операцій використання елемента;
- платформа, яка характеризує набір програмного забезпечення, яке можна використовувати в процесі імплементації математичної моделі;
- предметна область, яка характеризує сукупність пов'язаних між собою функцій, засобів управління, що розглядається в межах певного контексту.

До основних характеристик математичної моделі на основі інтервального підходу, які б корелювали з характеристиками виділеного нелінійного елемента необхідно віднести наступні:

- функції, які поряд із реалізацією виконання загально прийнятих математичних обчислень включають реалізацію основних процесів опису математичної моделі. Тут також необхідно враховувати ступінь осмислення та розуміння функцій, які враховуються на етапі вибору можливих варіантів використання.
- використання, яке дозволяє описати та оцінити основні особливості, які стосуються певної предметної області та зовнішніх інформаційних систем, в тому числі і зовнішніх середовищ моделювання;
- технічні характеристики, які включають кількісні (похибка, ймовірність) та якісні (точність, адекватність, складність) оцінки моделей в процесі їх побудови та практичного використання;

Дуже важливим етапом виокремлення нелінійного елемента інтервальної дискретної моделі є процес його узгодження, як окремого об'єкта з притаманними йому характеристиками та самої математичної моделі, яка має власну множину відповідних характеристик.

Такий процес можна формалізувати на основі відповідних формальних описів онтологічної моделі предметної області та онтологічного підходу для моделювання на основі інтервальних даних. Правила та оператори узгодженості згаданих характеристик можна описати на основі операцій класичної алгебри кортежів.

Іншою особливістю пропонованого підходу є те, що компоненти створеної таким чином моделі є повністю і повторно використовуваними, тобто рівняння, змінні, припущення з однієї моделі можуть бути використані повторно під час створення іншої моделі, або сформована база математичних моделей може бути повторно використана в процесі інтерпретації в інших інформаційних системах.

Підсистема управління перемиканням нелінійним параметром в процесі вибору математичних моделей ініціалізує оператори для формування параметрів моделі з відповідними значеннями, створює асоціації між змінними, формує фактичні команди побудови моделі та відповідний розв'язок множини рівнянь.

Також можна змоделювати перебіг виконання тих чи інших операцій, що досить зручно для прийняття відповідних рішень. Таким чином, вдається поєднати методи та засоби побудови дискретних моделей складних об'єктів у вигляді інтервальних різницевих рівнянь на основі поєднання онтологічного підходу та аналізу інтервальних даних.

Практична реалізація онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних дозволяє сформувати спільні структурні елементи, виходячи із особливостей їх застосування у складних предметних областях. В роботі здійснено практичну реалізацію програмного забезпечення, як один із варіантів використання напрацьованої бази модельних експериментів у різних предметних галузях в рамках пропоновано онтологічного підходу.

Онтологічний підхід дозволив здійснити побудову моделей представлення предметної області, а запропонована схема вибору нелінійного елемента інтервальної дискретної моделі, побудованої на основі аналізу інтервальних даних дозволив розширити сферу застосування простіших моделей у обраній предметній області.

В роботі було проведено ряд експериментальних досліджень, які стосувалися програмної реалізація методу перемикання нелінійним елементом математичної моделі в залежності від зміни умов перебігу чи факторів проведення експериментів.

Система реалізована з використанням мови програмування Java, підключення Python інструментального засобу та реляційної бази даних MySQL.

Користувач вибирає екземпляр моделі та відповідний операційний приклад. Для вибраної моделі здійснюється виокремлення нелінійного елемента, який на основі правил узгодженості дозволяє будувати відповідні оператори з використанням відповідним бібліотек, які інтерпретують рівняння з формалізованих, проіндексованих частин, ініціалізувати відповідні параметри моделі, засновані на відповідному екземплярі операції, і, нарешті, дозволяють обрати відповідну модель для побудови необхідного розв'язку або здійснити уточнення та побудову нової моделі.

Отримані результати можна інтерпретувати у відповідному графічному інтерфейсі (графіки, таблиці, схеми, набір результуючих файлі), а також відображаються інші результати, які зберігаються назад в операційному екземплярі математичної моделі з відповідними уточненнями та розміщуються в інформаційному репозиторію з присвоєнням окремого ідентифікатора.

Таке уточнення дозволить в майбутньому правильно обирати моделі в залежності від специфіки вибраних чи зміни істотних умов використання у відповідній предметній області.

Розглянемо приклад застосування онтологічного підходу для побудови інтервальної дискретної динамічної моделі для моделювання добового циклу динаміки концентрацій шкідливих викидів концентрацій діоксиду азоту на одному із перехресть з насиченим рухом автотранспорту в м. Тернопіль.

В інформаційному репозиторії для вказаного об'єкта дослідження знайдено декілька інтервальних математичних моделей. На рисунку 3.15 наведено формальне представлення вибраної моделі в середовищі SmartOntologyModeller.

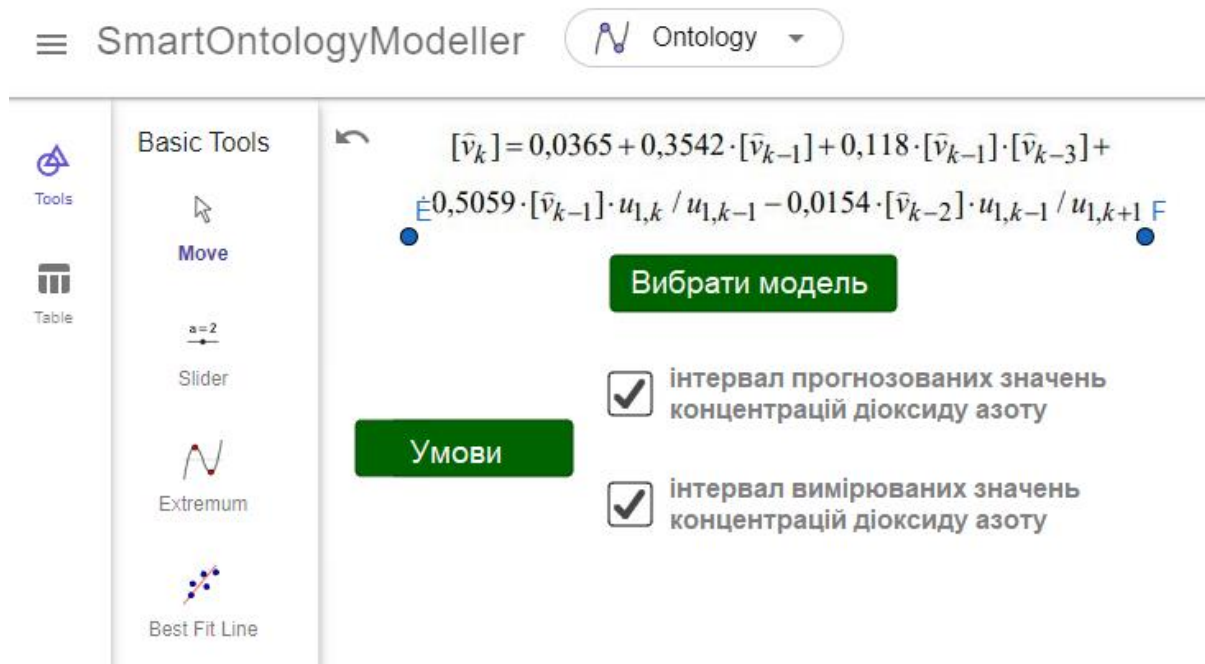


Рисунок 3.15 – Вибір інтервальної математичної моделі для моделювання добового циклу динаміки концентрацій шкідливих викидів концентрацій діоксиду азоту в середовищі SmartOntologyModeller

Наведена на рисунку 3 модель показує взаємозв'язок між концентрацією діоксиду азоту та інтенсивністю руху автотранспорту для різних точок міста.

У результаті проведеного аналізу вибірки даних для розглянутого прикладу, вдалося з'ясувати причину неможливості побудови єдиної моделі для дослідження динаміки концентрацій діоксиду азоту на перехрестях внаслідок забруднень автотранспортом, а саме – через неоднозначність зв'язку між концентрацією діоксиду азоту та інтенсивністю руху автотранспорту для різних точок міста. Як витікає з проведеного аналізу, для усунення цієї проблеми необхідно здійснювати управління вибраним структурним елементом моделі.

На рисунку 3.16 представлено процедуру вибору нелінійного елемента інтервальної дискретної динамічної моделі та відповідне перемикання на інший екземпляр моделі.

Таким чином, отримані результати в межах онтологічного підходу та аналізу інтервальних даних дозволяють представляти предметну область, у вигляді комплексного нелінійного елемента інтервальної дискретної моделі,

побудованої на основі аналізу інтервальних даних для розширення сфери застосування простіших моделей у обраній предметній області.

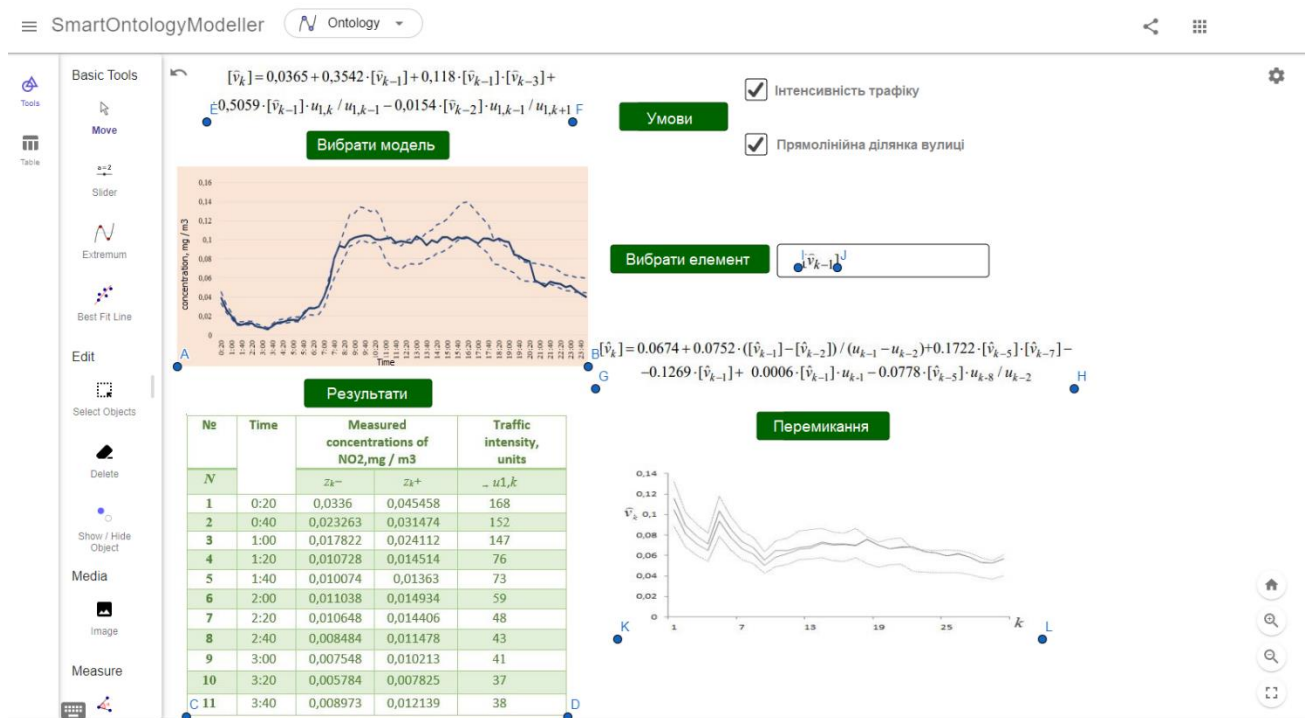


Рисунок 3.16 – Результати вибору нелінійного елемента дискретної динамічної моделі та відповідне перемикання на інший екземпляр математичної моделі в середовищі SmartOntologyModeller

З проведених досліджень випливає, що запропонований підхід дозволяє спростити процес створення математичної моделі, шляхом маніпулювання нелінійним елементом інтервальної дискретної моделі з метою повторного використання, підвищення прогностичних характеристик моделей та апробації у відповідних зовнішніх програмно-інтерпретованих середовищах.

Висновки до розділу 3

1. Вперше запропоновано нову концепцію ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яка передбачає поєднання методів аналізу інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу як до опису

предметної області досліджуваного об'єкта так і області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології, що у сукупності створило можливість розробки нових, більш ефективних з обчислювальної точки зору методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей об'єктів.

2. Вперше запропоновано та обґрунтовано новий гібридний метод структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який на відміну від існуючих ґрунтується на поєднанні методів інтервального аналізу, поведінкових моделей бджолиної колонії та знання-орієнтованому підході опису предметної області об'єктів на основі онтології, що у сукупності забезпечило зниження обчислювальної складності структурної ідентифікації.

У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що гібридний метод ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів ефективніший у порівнянні з відомими методами ідентифікації, а при знаходженні структури моделі у репозиторії для подібних за функціонуванням об'єктів обчислювальна складність зменшується у 18795 разів за рахунок уникнення процедури структурної ідентифікації.

3. Запропоновано підхід до побудови математичних та комп'ютерних моделей із застосуванням та поєднанням методів аналізу інтервальних даних та методів онтологічного аналізу з метою підвищення прогностичних характеристик моделей.

Такий підхід дозволяє значно спростити процес створення математичної моделі, шляхом маніпулювання нелінійним елементом інтервальної дискретної моделі з метою повторного використання, підвищення прогностичних характеристик моделей та апробації у відповідних зовнішніх програмно-інтерпретованих середовищах.

4. Запропонована онтологічна надбудова для математичного моделювання об'єктів на основі інтервальних даних дає можливість

генерувати засоби у вигляді програмного забезпечення для побудови інтервальних моделей.

З іншого боку, за наявності раніше побудованих інтервальних дискретних моделей онтологічна надбудова дає можливість створити репозиторій цих моделей, а також керувати цим репозиторієм. У цьому випадку він служить «перемикачем», який вибирає найбільш точну і адекватну модель зі сховища раніше створених моделей.

5. Переваги запропонованого підходу проілюстровано на прикладі моделювання процесів забруднення повітря шкідливими викидами автотранспорту. Зокрема, приклад ілюструє «перемикання» вибору математичної моделі на основі інтервальних даних залежно від зміни предметних характеристик моделі. Перемикання відбувається шляхом зміни умов середовища моделювання.

РОЗДІЛ 4.

МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНКИ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОЦЕСІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВНОТИ СТРУКТУРИ МОДЕЛІ ТА ОПISУ ОБ'ЄКТА МОДЕЛЮВАННЯ

Метою моделювання є представлення, обробка та використання інформації про досліджувані об'єкти, які здійснюють комунікацію між собою та зовнішнім середовищем, а відповідно модель слугує засобом пізнання поведінки об'єкту, пізнання його властивостей і закономірностей. Повнота моделі полягає у забезпеченні відповідності властивостей оригіналу відповідно до поставленої мети моделювання.

Особливо важливим моментом є забезпечення повноти структури інтервальної математичної моделі. Це, насамперед пов'язано із сутністю самого підходу до математичного моделювання на основі інтервального аналізу, який вимагає мінімальної кількості інформації про досліджувану систему. Тому дуже важливим моментом є те, що ця мінімальна кількість інформації достатньо повно описувала досліджуваний об'єкт та дозволяла забезпечити повноту структури моделі.

Верифікація моделі на реальних даних дозволяє оцінити адекватність побудованої математичної моделі. Вибірка таких даних може бути отримана або на основі відповідних вимірювань, або з достовірних інформаційних джерел.

На початку розділу описано систему показників фільтрування недостовірної та неактуальної інформації, яка отримана на основі кількох джерел. На основі даної системи реалізовано метод перевірки інформації з веб-ресурсів на актуальність та достовірність. В основі даного підходу покладено можливість використання наперед визначеного ресурсу, дані з якого носять тільки достовірний характер. Розроблено метод виявлення недостовірної та неактуальної інформації, враховуючи особливості її поширення через

інформаційні веб-орієнтовані джерела та використання багатозадачної класифікації інформації, яка отримується із різних джерел даних.

Далі в розділі представлено метрику оцінки актуальності інформації, яка отримана з використанням сервісів в корпоративних інформаційних системах, та описано метод фільтрування даних на основі метрики оцінки актуальності інформації в рамках досліджуваної предметної області.

Використання запропонованих інтелектуальних методів обробки даних разом із іншими методами інтелектуального аналізу, які використовуються для оцінки інформації отриманої з інтернету та сервісно-орієнтованих джерел, дозволить підвищити ефективність процесу встановлення неактуальності та недостовірності інформації, а також дозволить підвищити ефективність побудови математичних моделей в розрізі забезпечення повноти структури моделі, опису об'єкта моделювання, стійкості до зміни стану середовища, чи умов отримання інтервальних даних.

Основні результати цього розділу опубліковано автором у працях [37, 38, 45, 50, 91, 98, 119, 122, 143, 144, 228, 229, 231, 238-240, 247, 249, 251, 254, 255].

4.1. Метод перевірки інформації з веб-ресурсів на основі аналізу даних, отриманих із соціальних мереж

Виявлення неактуальної та недостовірної інформації є важливим елементом в процесі інформаційної обізнаності та прийняття рішень. Велика кількість інформації, яка розповсюджується через Інтернет, вимагає її всебічної оцінки, а це в свою чергу породжує також питання оцінювання відповідного інформаційного джерела [210, 218, 235, 249].

На відміну від друкованих матеріалів, таких як книги та статті, веб-сторінки не повинні відповідати стандартам якості, точності та статистичної достовірності. Ця відсутність контролю якості створює особливі проблеми для встановлення відповідного ступеня довіри, в межах якого необхідно

оцінювати кожен веб-сторінку на предмет точності, достовірності, актуальності та об'єктивності.

В Інтернеті кожна адреса веб-сайту має домен як частину адреси, що дозволяє ідентифікувати власника веб-сайту. Домен або його приналежність до довіреної зони може бути швидким способом оцінити якість веб-ресурсу перед його відвідуванням. Як правило, .edu, .gov та .org частіше мають якіснішу інформацію, ніж домени .com [139, 211, 221].

У цьому параграфі реалізовується процедура оцінки достовірності та актуальності інформації із конкретного веб-ресурсу. Застосування такої процедури також дозволяє провести загальну оцінку відповідного інформаційного джерела на предмет достовірності та актуальності.

Перевірка веб-ресурсів на наявність неактуальної та недостовірної інформації вручну вимагає великих часових витрат. Така перевірка недостовірної інформації не масштабується за обсягом новоствореної інформації, особливо коли певна організація має кілька ресурсів, включаючи ресурси в різних соціальних мережах. Використання засобів, які спрямовані на автоматизацію такої перевірки, або часткове використання методів автоматичної перевірки в основному ґрунтуються на автоматизації процесів пошуку інформації, методів обробки природної мови, машинного навчання, графової теорії.

У загальному представлену актуальну інформацію можна моделювати наступним відношенням [210, 211, 218, 249]:

$$K_w = \langle S, P, O \rangle, \quad (4.1)$$

де K_w - інформація, яка моделюється наступною трійкою: S - предметна область, P - предикат, O - об'єкт.

Наприклад, розглянемо наступний інформаційний блок на веб-ресурсі одного з структурних підрозділів Міністерства охорони здоров'я України: «ТОЛЦ Міністерства охорони здоров'я України щомісячно проводиться

лабораторний контроль якості води централізованого водогону за санітарно-хімічними показниками». В даному блоці можна виділити наступні інформаційні блоки:

$$Kw = \langle \text{ТОЛЦ, показники, санітарно – хімічні} \rangle.$$

Більшість відомих засобів автоматичного видобування інформації ґрунтуються на представлені (4.1) та його відповідній інтерпретації.

Для пошуку неактуальної або недостовірної інформації та побудови відповідно системи її класифікації дані спочатку витягуються з відкритих джерел, які відносяться до однієї категорії або групи відповідних веб-ресурсів деякої установи чи організації. Такий процес часто відноситься до видобування даних або відповідних відношень між ними. Видобування даних можна класифікувати на видобуток даних з одного джерела або з відкритим кодом.

Одне джерело видобування даних в основному ґрунтується на порівняно надійному веб-ресурсі (наприклад, офіційна веб-сторінка установи). Даний спосіб для отримання релевантної інформації є відносно ефективний, але часто призводить до встановлення неповної інформації, оскільки залежить від рівня наповнюваності або актуальності розміщеного контенту.

Пошук актуальної інформації на основі даних із кількох відкритих джерел є менш ефективним, але дозволить значно розширити формування повних та достовірних інформаційних блоків [249, 251, 254].

Для пошуку неактуальної та недостовірної інформації необхідно також сформувані наступні множини (4.2), (4.3), (4.4):

$$At \in Kw, \tag{4.2}$$

де At - представляє фрагмент даних, який вдалося верифікувати.

$$BaseAt = \{At\}, \quad (4.3)$$

де $BaseAt$ - представляє множину верифікованих даних.

$$BaseRelation = \{BaseAt, RelationAt\}, \quad (4.4)$$

де $BaseRelation$ - представляє множину зв'язків між сутностями, які описані за допомогою відповідних відношень $RelationAt$.

Для того, щоб сформувати базу із достовірною інформацією, яка отримана на основі кількох джерел, їх потрібно додатково відфільтрувати, враховуючи наступні особливості:

- Надлишковість представлених даних в одному контексті
наприклад,

$$Kw = \langle \text{ТОЛЦ, показники, санітарно – хімічні} \rangle \text{ та}$$

$$Kw_1 = \left\langle \begin{array}{l} \text{Тернопільський обласний лабораторний центр, показники,} \\ \text{санітарно – хімічні} \end{array} \right\rangle$$

Kw_1 буде надлишковим представленням, оскільки «ТОЛЦ» та «Тернопільський обласний лабораторний центр» відповідають одній і тій же сутності;

- Недійсність – показник, який залежить від конкретного інтервалу часу, наприклад, $Kw = \langle \text{ТОЛЦ, санстанція, Україна} \rangle$ неактуальна інформація і повинна бути оновлена. Один із варіантів подолання даної проблеми – представлення даних із певним набором часових характеристик або розширення отриманого набору за допомогою встановлення додаткових тверджень;

- Суперечливість представлених даних (наприклад $Kw = \langle \text{ТОЛЦ, адреса, Тернопіль} \rangle$) та $Kw = \langle \text{ТОЛЦ, адреса, Чортків} \rangle$) є суперечливими даними, які вимагають додаткового аналізу);

- Недостовірність веб-ресурсу (складність ідентифікації ресурсу до довіреної зони в рамках заданої предметної області). Достовірність веб-ресурсу можна встановити наприклад через приналежність його доменної адреси до довіреної зони;

- Повнота – наявність інформації, яка отримана із веб-ресурсів незавжди дозволяє встановити її достовірність та актуальність.

Процедура перевірки інформації з веб-ресурсів на актуальність та достовірність. Щоб оцінити достовірність інформації, яка розміщується на офіційних веб-ресурсах установ та організацій, необхідно порівняти дані, які отримані та представлені за допомогою відношення (4.1) з інформацією, яка отримана з достовірних джерел. Як правило, процедура перевірки даних для трійки $Kw = \langle S, P, O \rangle$ полягає в оцінці можливості того, що межі, позначені предикатом P , сформовані із врахуванням приналежності S , до вузла, що виконує представлення O в множині $BaseAt$. Зокрема, цей процес можна описати за допомогою наступних кроків, які формалізовано представлені на рисунку 4.1.

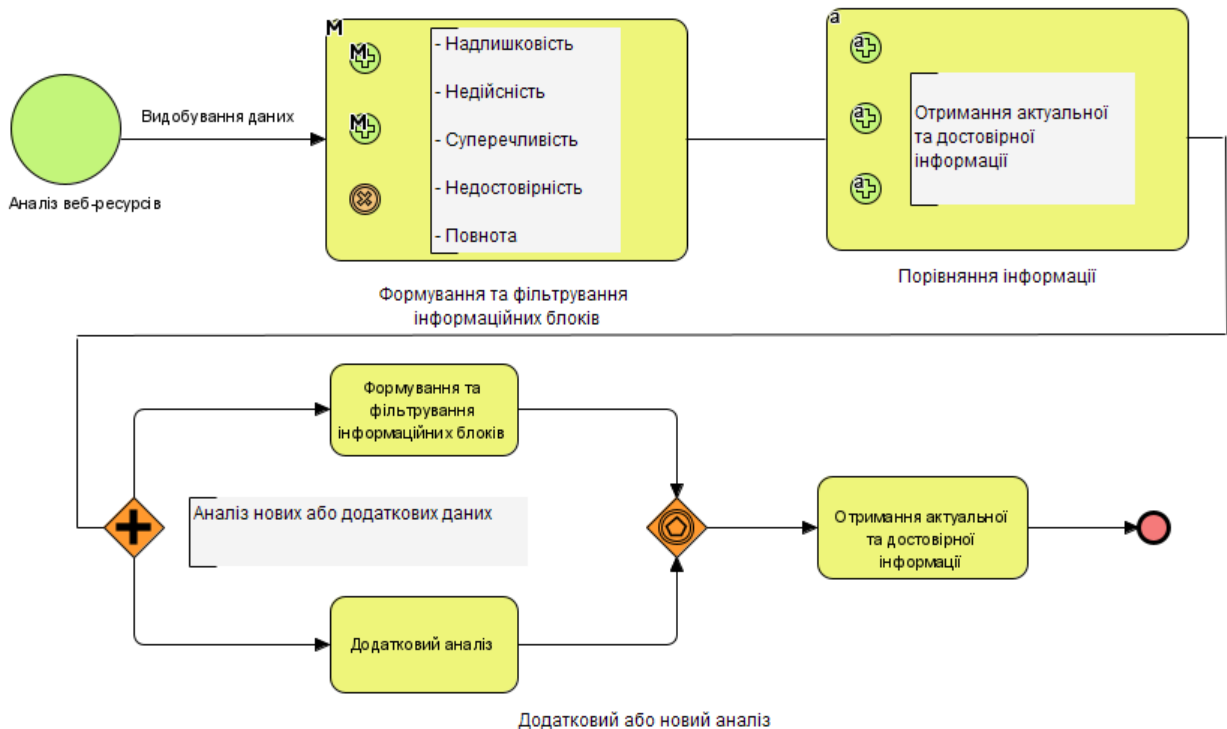


Рисунок 4.1 – Схема аналізу інформації з веб-ресурсів із використанням показників оцінки достовірності інформації

1. Розташування сутності. Тема S , так само як і об'єкт O спочатку повинні відповідати елементу із множини достовірних даних в $BaseAt$, який представляє ту саму сутність.

2. Перевірка відношень. Інформація, яка описується за допомогою (4.1) вважається актуальною та достовірною, якщо межа позначена предикатом від елемента, що представляє S , до елемента, що представляє O , існує в множині опису зв'язків $BaseRelation$. В іншому випадку інформація вважається хибною, або такою, що потребує додаткових уточнень.

3. Встановлення достовірності інформації. Коли $Kw = \langle S, P, O \rangle$ не входить у множину $BaseRelation$, ймовірність для меж сутності, яка позначена предикатом в межах певної предметної області можна визначити, використовуючи показник семантичної близькості [5], який дозволяє провести попарну оцінку елементів із множини $\langle S, P, O \rangle$, які знаходяться між собою в семантичних відношеннях (синоніми, гіперо-гіпонімічні відношення, асоціативність), і нульові значення для всіх інших пар.

Розглянемо специфіку описаного процесу перевірки. Припустимо, що верифікований на офіційному веб-ресурсі інформаційний блок можна представити як формалізований набір тверджень $Kw = \langle s_i, p_i, o_i \rangle, i = 1, 2, \dots, n$. Множина W_{BaseAt} сформована на основі верифікованих наборів даних $st_j, pt_j, ot_j, j = 1, 2, \dots, m$.

Перевірка інформаційних блоків, які розміщені на суміжних до досліджуваного веб-ресурсу буде зводитися до побудови функцій Fa із знайденими показниками автентичності $Af_i \in [0;1]$ для кожного блоку $\langle s_i, p_i, o_i \rangle$, попарно їх порівнюючи із $\langle st_j, pt_j, ot_j \rangle$ із врахування опису відношень із $BaseRelation$:

$Af_i = 1$, якщо блок верифікований як достовірний;

$Af_i = 0$, якщо блок верифікований як недостовірний;

Загальний показник автентичності ресурсу Af буде визначатися як агрегована величина усіх Af_i :

$$Fa:(s_i, p_i, o_i) \xrightarrow{W_{BaseAt}} Af_i, \quad (4.5)$$

$$Af = O(Af_i), \text{ де } i=1, \dots, n, \quad (4.6)$$

де O – вибрана функція агрегування (наприклад, середньозважена).

Інформація, яку необхідно перевірити, є достовірною при умові $Af = 1$, а при $Af = 0$ вказана інформація повністю недостовірна:

$$Fa((s_i, p_i, o_i), W_{BaseAt}) = P(\text{межа } p_i, \text{ що зв'язує } s_i \text{ та } o_i \text{ в } W_{BaseAt}), \quad (4.7)$$

де P – ймовірність відповідності s_i, o_i до достовірних даних st_j, ot_j в W_{BaseAt} .

$$s_i = \arg \min_{st_j} [U(s_i, st_j)] < \theta \quad (4.8)$$

$$o_i = \arg \min_{ot_j} [U(o_i, ot_j)] < \theta, \quad (4.9)$$

де U – відстань між двома елементами відповідних сутностей, яку можна розрахувати за допомогою формули Джакардової відстані, яка детально розглядається у працях [38, 98, 211, 249]. Величина U буде відображати ідентифікацію двох сутностей між собою, наприклад, якщо $U = (o_i, o_{i+1}) = 0$, то o_i та o_{i+1} ті самі сутності.

У результаті отримаємо множину видобутих даних та множину верифікованих достовірних даних.

Однією із основних проблем при побудові множини достовірних даних буде джерело (джерела), з якого ці дані можна отримати. В якості відповідного джерела може використовуватися наперед визначений ресурс, дані з якого носять тільки достовірний характер.

Виявлення недостовірної інформації, враховуючи особливості її поширення через відповідні сторінки у соціальних мережах, можна реалізовувати, використовуючи методи аналізу структури інформації в процесі їх поширення або дублювання. Виявлення недостовірної інформації на основі її розповсюдження можна сформулювати як задачу багатозадачної класифікації інформації, яка отримується із різних джерел даних. Вхідними даними даного методу поширення може бути впорядкована множина, елементами якої є інформаційні блоки та відповідні показники їх ідентифікації (час, джерело, профіль).

Таку впорядковану множину можна представити через деревоподібну структуру, яка, враховуючи відповідні показники, фіксує ступінь поширення певної інформації через соціальні мережі. Кореневий елемент такої структури визначає джерело, з якого інформація була взята в початковому вигляді, а інші вузли представляють користувачів, які поширювали інформацію, враховуючи їх взаємозв'язок із батьківським джерелом (наприклад, офіційна сторінка організації в соціальній мережі та сторінки користувачів, які є учасниками відповідної групи або просто «друзями»).

Оцінку достовірності інформації, яка поширюється через відповідні профілі у соціальних мережах, можна здійснювати через врахування показника потужності множини або через їх оцінку через часові характеристики.

На рисунках 4.2 та 4.3 наведено ілюстрацію оцінки достовірності інформації, яка отримується через соціальні мережі із використанням зазначених вище методів оцінки.

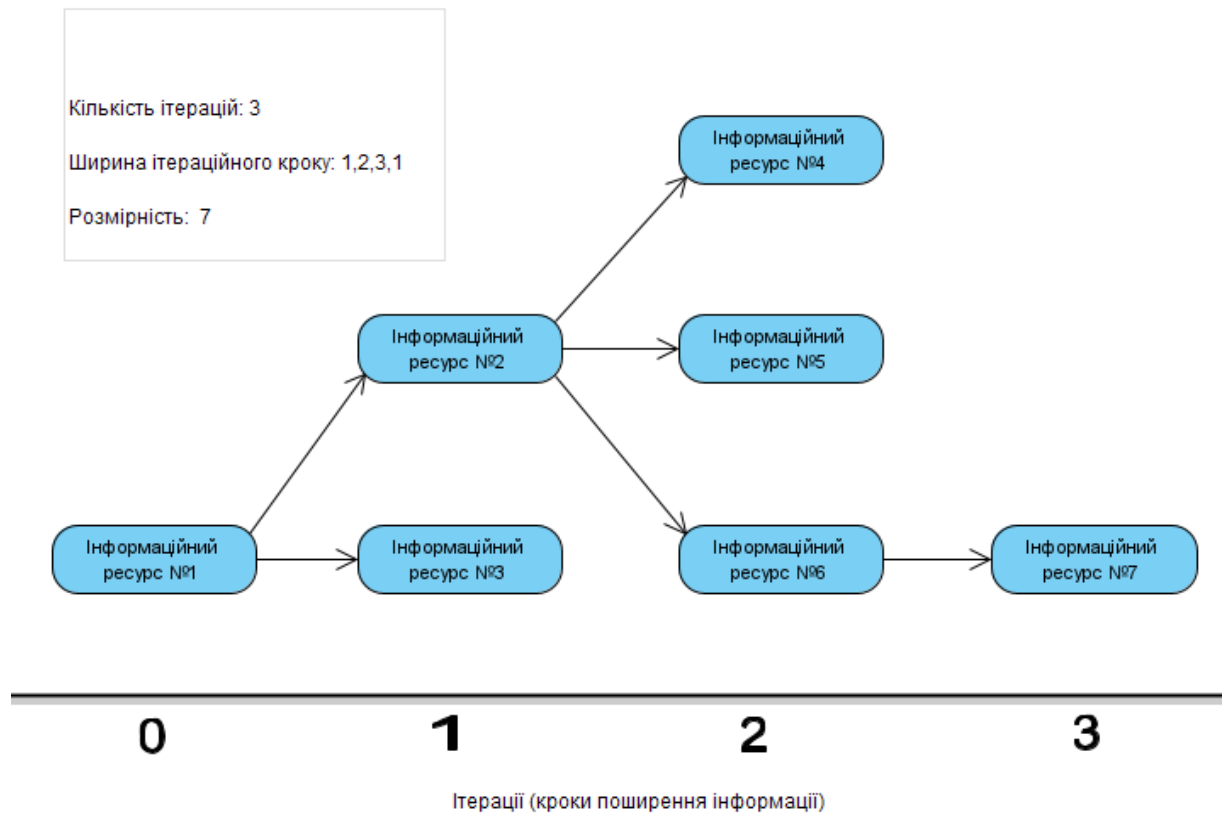


Рисунок 4.2 – Оцінка достовірності інформації на основі ітераційної оцінки
МНОЖИН

Основними критеріями, які використовуються при використанні ітераційної оцінки множин, є:

- кількість ітерацій - максимальна кількість ітерації, на яких відбувалося поширення інформаційних блоків в межах аналізованих інформаційних ресурсів;
- ширина ітераційного кроку – кількість джерел інформації в межах ітераційного кроку;
- розмірність – загальна кількість джерел інформації, через які відбувається поширення;

На рисунку 4.3 відображено ці показники, виходячи із побудованої деревовидної структури.

Основними критеріями, які використовуються при використанні часової оцінки, є:

- період існування інформаційного елемента – час, протягом якого інформація поширювалася через відповідні інформаційні джерела;
- режим реального часу – кількість джерел інформації, які поширювали інформацію в певний час;
- кількість джерел поширення інформації – загальна кількість джерел інформації, через які відбувається поширення;

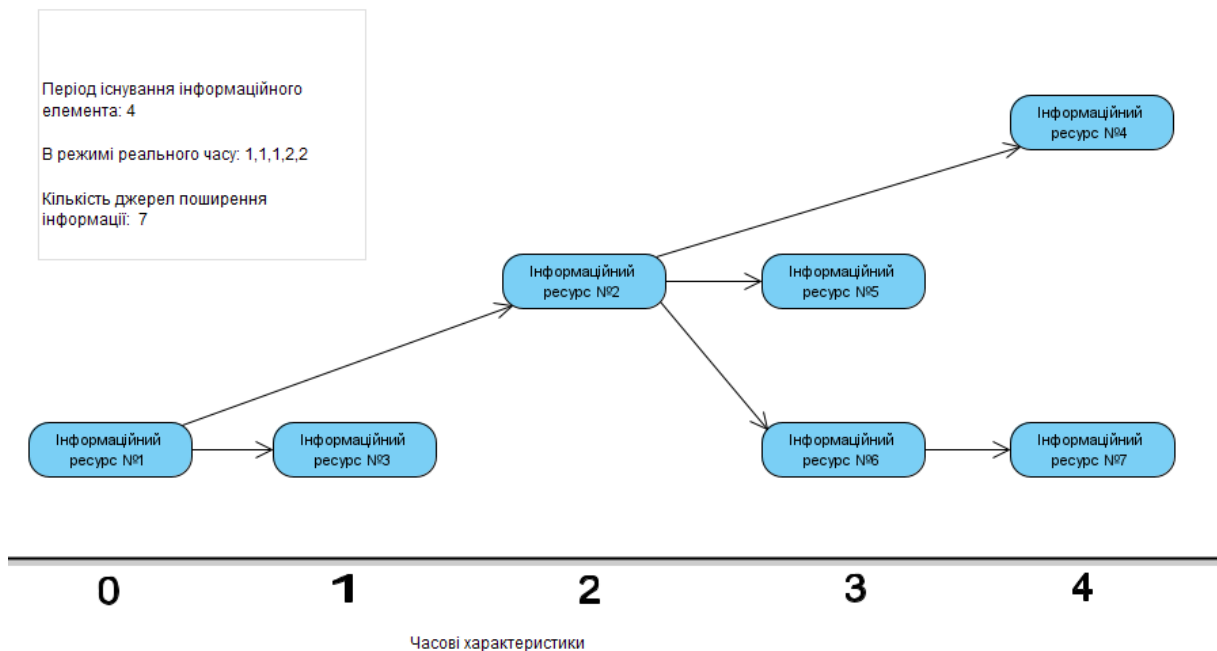


Рисунок 4.3 – Оцінка достовірності інформації на основі часової оцінки

МНОЖИН

Складність застосування такого методу визначення достовірної інформації полягає у розширенні кількості вузлів на кожному етапі ітерації, наприклад, через велику чисельність активних користувачів, які належать до кореневого вузла. Крім того, часто доводиться фільтрувати додаткові показники, які можуть нарощуватися на кожній ітерації.

В загальному випадку достовірність інформації буде визначатися, виходячи із її близькості до кореневого вузла поширення із врахуванням актуальних часових характеристик.

На основі запропонованого підходу було проведено ряд експериментальних досліджень [249]. Суть даних досліджень зводилася до оцінки інформації веб-ресурсу центру контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України (<https://terses.gov.ua>) та відповідних джерел інформації, які до нього повністю, частково або взагалі не прив'язані до даного джерела.

На рисунку 4.4 представлено схему, яка відображає результати оцінки відповідних джерел інформації із врахуванням параметрів на кожному ітераційному кроці.

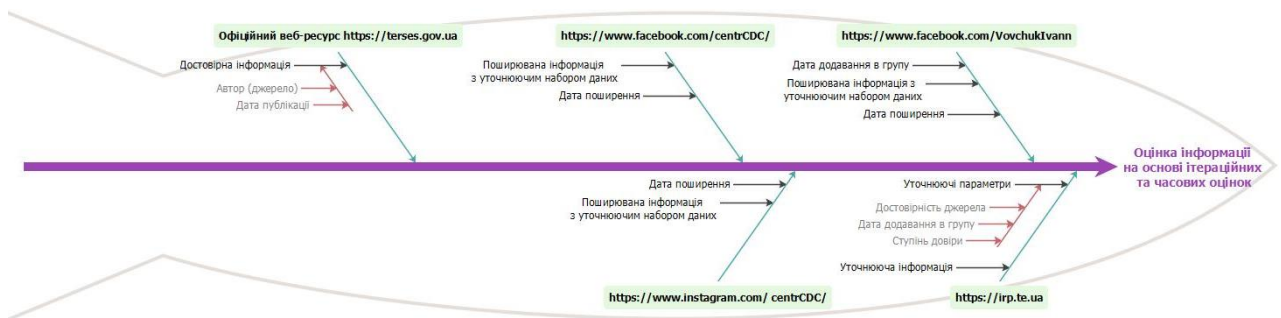


Рисунок 4.4 – Оцінка достовірності інформації на основі ітераційних та часових характеристик на прикладі даних, отриманих з ресурсу <https://terses.gov.ua>

В результаті експертного оцінювання з елементами використання автоматизованих інструментальних засобів аналізу контенту було підтверджено достовірність інформації, яка відображалася на кожному кроці оцінювання. Відповідні результати наведено у таблиці 4.1.

Оцінка достовірності здійснювалася на основі агрегованої оцінки кожного інформаційного джерела.

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання достовірності інформації на основі поширення її через соціальні мережі в рамках структури відношень домена

<https://terses.gov.ua>

Параметри оцінювання	https://terses.gov.ua (достовірне джерело)	https://www.facebook.com/centrCDC/	https://www.instagram.com/VovchukIvann	https://www.instagram.com/centrCDC/	https://irp.te.ua/ternopil-s-ky-j-oblasny-j-laboratory-j-tsentr-moz-ukrayiny/
Автор	Центр контролю та профілактики хвороб	ДУ "Тернопільський ОЦКПХ МОЗ "	Вовчук	ДУ "Тернопільський ОЦКПХ МОЗ "	Тернопільський регіональний інформаційний портал
Дата публікації (поширення)	20.01.2021	20.01.2021	21.01.2021	21.01.2021	20.01.2021
Достовірність джерела	Достовірне	Достовірне	Частково достовірне	Достовірне	Достовірне
Дата реєстрації джерела в достовірному домені	-	20.09.2020	31.10.2020	21.09.2020	30.09.2020
Ступінь довіри	Високий	Високий	Середній	Високий	Середній
Оцінка достовірності	Достовірна	Достовірна	Частково достовірна	Достовірна	Частково достовірна

В результаті встановлено, що на трьох інформаційних ресурсах, інформація, яка поширюється, може вважатися достовірною, а на двох - частково достовірною.

4.2. Метод виявлення неактуальної інформації в сервісно-орієнтованих корпоративних системах

Зростання доступності інформації, зокрема через використання різноманітних сервісів, викликає необхідність агрегування інформації шляхом фільтрації та ранжування джерел з яких вона отримується, виходячи із цілей кінцевого користувача [254].

В останні роки багато досліджень зосереджено на оцінці якості та зручності сервісів, а саме, як вони описуються, узгоджуються та формуються, однак недостатньо уваги приділяється контекстному аналізу самих сервісів, фільтруванню джерел, які можуть надавати неактуальну або недостовірну інформацію, що дуже важливо для підвищення ефективності та коректності

структури сервісів та особливостей їх використання[254] .

Велику частину інформаційних технологій займають корпоративні інформаційні системи [38, 240]. Розвиток таких систем пов'язаний з автоматизацією практично усіх напрямків людської діяльності. Усе це сприяло розвитку інструментальних та концептуальних засобів для реалізації та підтримки бізнес-систем [254] .

Одним із таких концептуальних засобів є сервісно-орієнтована архітектура (COA) [50, 254]. В корпоративних системах сервіси - це прикладне програмне забезпечення, яке забезпечує комунікаційний зв'язок між клієнтами та надавачами послуг. Бізнес процеси в такій програмній архітектурі можна представити сервісами в сервісно-орієнтованій архітектурі [98, 195, 228, 254] .

Видобування інформації через використання сервісів є дуже важливим завданням, яке дозволяє серед інших можливостей – агрегувати інформацію, фільтрувати та ранжування відповідно до цілей користувача засобами веб-сервісів (на основі SOAP, або REST) або з використанням API методів [37, 38, 144, 245, 254, 255].

Велика кількість доступних послуг та простих у використанні композиційних інструментів сприяють появі неактуальної інформації на етапі формування послуги та через недосконалу організацію комунікації організованих послуг [91, 98, 119, 122, 238-240, 247, 249, 251, 254, 255].

Проблема появи неактуальної інформації на етапі формування послуги в основному пов'язані з розробниками та користувачами, які створюють композитні послуги [238-240, 254]. Проблема комунікації складених послуг є критичною для споживачів послуг, які страждають від небажаних результатів, які надають системи в процесі врахування часових характеристик [254, 255].

Ці питання стають більш актуальними, коли існує багато типів та обсягів даних, що надаються службами, а в Інтернеті та хмарному середовищі такі дані та послуги мають різні обмеження контексту та якості [98, 119, 122, 143, 144]. Невірне опрацювання таких даних може спричинити зниження якості надання

таких послуг[254].

В сучасних умовах при використанні зовнішніх сервісів важливим питанням є оцінка актуальності інформації, її контекстної складової, яка пов'язана з використанням сервісів (наприклад, володіння даними), що заважає фільтрувати неактуальну інформацію, з якою розробники та прості користувачі стикаються при виборі необхідних джерел даних [231, 238-240, 247, 254, 255].

На рисунку 4.5 представлено структуру інформаційних потоків при формуванні сервісних послуг на етапі проектування, реалізації та використання.

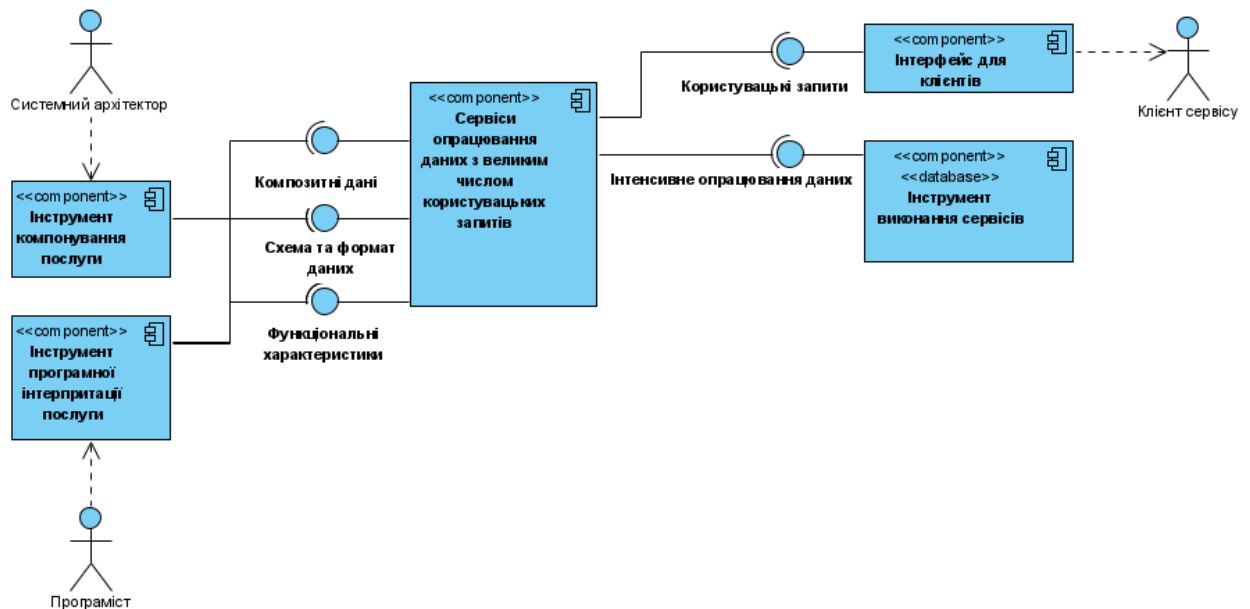


Рисунок 4.5 – Структура інформаційних потоків при формуванні сервісних послуг

У всіх зазначених потоках може існувати нерелевантна інформація. З неактуальною інформацією під час складання служби стикається здебільшого розробник, який спирається на величезні джерела інформації для побудови складених сервісів. Розробник сприймає цю проблему, коли інформація про сервіси та дані, що повертаються інструментом композиції сервісів, є непорівнянними або неповними. Під час виконання сервісних запитів простий користувач стикається з нерелевантними інформаційними проблемами, коли

дані повертаються інтенсивно, а сервіси не можна порівняти або адекватно оцінити [254].

У таблиці 4.2 наведено деякі приклади неактуальної інформації. Коли ми розглядаємо сценарії складання та виконання послуг у масштабі Інтернету та хмарних служб, в яких послуги надаються різними постачальниками, нерелевантна інформація, пов'язана з цими потоками зростає в багатьох аспектах завдяки різноманітності та складності сервісів та їх описів.

Таблиця 4.2 – Випадки неактуальної інформації

Причина	Наслідок
Деякі системи не надають опису структур даних	Неструктурований опис даних
Різні програмно-технічні специфікації	Опис різних версій специфікацій, неоднакова семантика при інтерпретації запитів
Неможливість отримати контекст безпосередньо із сервісу	Немає API для оцінки якості
Нерелевантне доменне ім'я, відсутність верифікації довіреної DNS зони	Відсутність можливості визначення достовірності джерела

Наявні нерелевантні інформаційні проблеми при складанні та виконанні сервісів можна вирішити, використовуючи декілька різних методів, наприклад, семантичний аналіз, аналіз даних та аналіз подібності [37, 38, 45].

У даному дослідженні основна увага приділяється питанням оцінки та обміну актуальною інформацією та контекстом інформації про сервіси. Контекстна інформація визначає ситуацію, за якої сервіси формуються та можуть використовуватися, а дані із запитів можуть бути опрацьовані, тоді як буде доведена ефективність джерела даних, яке використовується при

формуванні сервісів.

Розробка уніфікованого підходу, який поєднає контекстну та якісну складову інформації, отриманої із використанням сервісів дозволяє підвищити як якість надання сервісних послуг, так і знизити ймовірність виникнення помилок в процесі розробки інших систем.

4.2.1. Метрика оцінки актуальності інформації в сервісно-орієнтованих системах.

Досліджуючи якість та достовірність інформації, виділено основні характеристики, які можна застосувати для оцінки актуальності інформації про сервіси. Пропонується базову множину показників, які будуть використані для демонстрації ефективності методу оцінки неактуальної інформації в корпоративних інформаційних системах. Розглянемо детальніше ці показники, які детально описані в [254].

Інтерпретованість (I_p) - визначає наявність метаданих та документації для правильної інтерпретації (функціональних та нефункціональних) властивостей сервісів. Ця метрика дозволяє побудувати систему зважених коефіцієнтів для класифікації службових документів, які використовуються при реалізації сервісів. У таблиці 4.3 представлено опис властивостей, які використовуються для оцінки інтерпретованості.

Виходячи із представлених типів інформації (таблиця 4.3), показник інтерпретованості I_p оцінюємо таким співвідношенням:

$$I_p = \frac{\sum estimation(type_i) \times v_i}{\sum v_i}, \quad (4.10)$$

де $v(type_i) \in [0,1]$, $\sum v(type_i) = 1$ та $estimation(type_i) \in [0,1]$ – вагові коефіцієнти, які визначають значимість показників для оцінки

інтерпретованості та коефіцієнти, які визначають ступінь доступності інформації, відповідно для кожного типу із набору $type_i \in \{P, D, Nh, Fd, Rs\}$.

Таблиця 4.3 – Типи показників та інформації, що використовується для оцінки інтерпретованості

Type (Тип)	Інформація про сервіс	Приклади
<i>P</i> (Патерн)	Сервіси та схеми їх формування та використання	Web Services Description Language, WSDL, умови запиту та відповіді, моделі даних
<i>D</i> (Документація)	Документи	Опис методів API
<i>Nh</i>	Нефункціональні властивості	QoS, локація, локалізація, доступність, надійність, відповідь, час відгуку, актуальність відповіді ресурсу
<i>Fd</i>	Першоджерело	Версії патернів, нефункціональні характеристики
<i>Rs</i>	Достовірність джерела	Довірена доменна зона, зареєстрований програмний продукт в сертифікованому центрі

Оцінка $estimation(type_i)$ може бути отримана з використанням спеціальних програмних засобів (парсерів, аналізаторів), які збирають та класифікують інформацію такого аналізованого типу.

Іншими важливими показниками, від яких залежить актуальність інформації, яку отримуємо на основі сервісів, є повнота F та своєчасність T .

Показник повноти (4.11) визначає відношення між отриманими нефункціональними показниками Nh_p та їх мінімальним визначеним набором Nh_{\min} .

Показник Nh_{\min} включає всі показники Nh_p , які вважаються релевантними для вибору сервісу, який надається компанією чи організацією, яка, своєю чергою, є власником інформаційної системи. Наприклад, $Nh_{\min} \{A, R, An, Tm\}$, де A – доступність, R – надійність, An – відповідь, Tm – тривалість отримання відповіді.

$$F = 1 - \frac{\|Nh_p \cap Nh_{\min}\|}{Nh_{\min}} \quad (4.11)$$

Показник своєчасності T визначає наскільки актуальним є опис нефункціональних характеристик Nh . Показник своєчасності (4.12) визначається як відношення перевірених часових характеристик T_{exp} та їх імплементованих значень T_{norm} :

$$T = 1 - \min\left(\frac{T_{\text{exp}}}{T_{\text{norm}}}, 1\right) \quad (4.12)$$

4.2.2. Метод фільтрування даних на основі метрики оцінки актуальності інформації

В сучасних корпоративних системах, які мають власні АРІ для надання сервісів зовнішнім клієнтам не підтримують фільтрацію інформації про сервіси на основі показників якості, тому методи вибору надавачів сервісів повинні містити повну та відфільтровану службову інформацію.

На основі метрики оцінки актуальності інформації можна сформувати метод фільтрування даних, який базується на двох основних типах описів: на

основі всіх службових документів або на основі описів нефункціональних характеристик Nh .

Для реалізації методу фільтрування даних, за допомогою метрики необхідно встановити зважені коефіцієнти та визначити коефіцієнти для різних типів службових документів. Встановлення цих коефіцієнтів можна здійснити, наприклад, на основі службової інформації, яка надається власником сервісної системи, але зважені коефіцієнти для нефункціональних властивостей будуть залежати від сформованого запиту. На рисунку 4.6 представлено процедуру визначення зважених коефіцієнтів для нефункціональних властивостей.

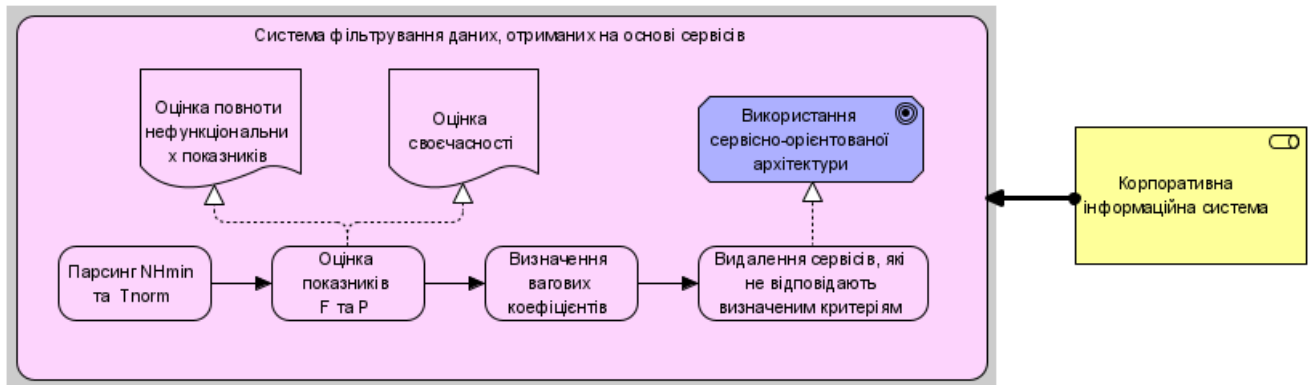


Рисунок 4.6 – Схема методу фільтрування даних, на основі сервісів

Як бачимо з наведеної схеми, метод фільтрування даних передбачає такі етапи:

- на основі показників оцінки актуальності інформації, які сформовані в метриці інтерпретованості I_p необхідно встановити вагові коефіцієнти та оцінити кожен тип (P, D, Nh, Fd, Rs) показників для кожного сервісу;
- встановлення залежності між інформацією, яка надана корпоративною системою, та показниками, які отримані на основі конкретних запитів;
- на наступному етапі, виходячи із сформованого набору запитів

необхідно визначити показники $Nh_{\min} \{A, R, An, Tm\}$ та T_{norm} ;

- проведення оцінки на основі метрики оцінки актуальності інформації (показники повноти та своєчасності);
- встановлення порогів для фільтрації нерелевантних джерел надання інформації через сервіси;
- фільтрація сервісів, інформація з яких знаходиться нижче встановленої межі.

Метод фільтрування даних доцільно використовувати перед вибором власника сервісів (корпоративної інформаційної системи) з метою якісного формування комунікаційної складової для отримання лише актуальної та достовірної інформації.

4.2.3. Дослідження особливостей реалізації методу фільтрування даних на основі метрики оцінки актуальності інформації

Для підтвердження ефективності запропонованих методів було проведено ряд експериментальних досліджень. Суть експериментів полягала у визначенні неактуальних сервісів на основі інформації, яка може бути отримана через зовнішні API інтерфейси, які надають великі відкриті системи на ринку оцінки якості ґрунтів.

Вибір даної предметної області в якості експериментальних досліджень обумовлений використанням запропонованих напрацювань в рамках науково-дослідного проекту «Математичне та програмне забезпечення для ідентифікації та моніторингу особливо небезпечних джерел забруднення ґрунту та ґрунтових вод», № держреєстрації 0120U102040).

Було проаналізовано 10 API-інтерфейсів для оцінки якості ґрунтів, які були повернуті пошуковиком Google при формуванні запиту – «API soil assessment». Для аналізу показників ітерпретованості, повноти та своєчасності із використанням програмних засобів для аналізу різного роду контенту, включаючи сервісний інтерфейс (наприклад, файл WSDL), інформацію про

документацію, рейтинг або відгуки користувачів.

Для кожного сервісу покладаємо $estimation(P)=1$, оскільки їх патерни (схеми) в основному є файлами WSDL, інформація з яких дозволяє класифікувати службову документацію на категорії - {неструктурована, частково структурована, структурована}, що еквівалентно такій оцінці: $estimation(D)=\{0,0.5,1\}$. Мінімальний набір нефункціональних параметрів, які аналізувалися $Nh_{min} = \{доступність, час відгуку, відповідь\}$.

На рисунку 4.7 представлено результати оцінки показника інтерпретованості I_p використовуючи різні набори вагових коефіцієнтів для показників:

1) $v(P)=0.2, v(D)=0.2, v(Nh)=0.2, v(Fd)=0.2, v(Rs)=0.2$ – варіант, коли усі типи мають однакову вагу.

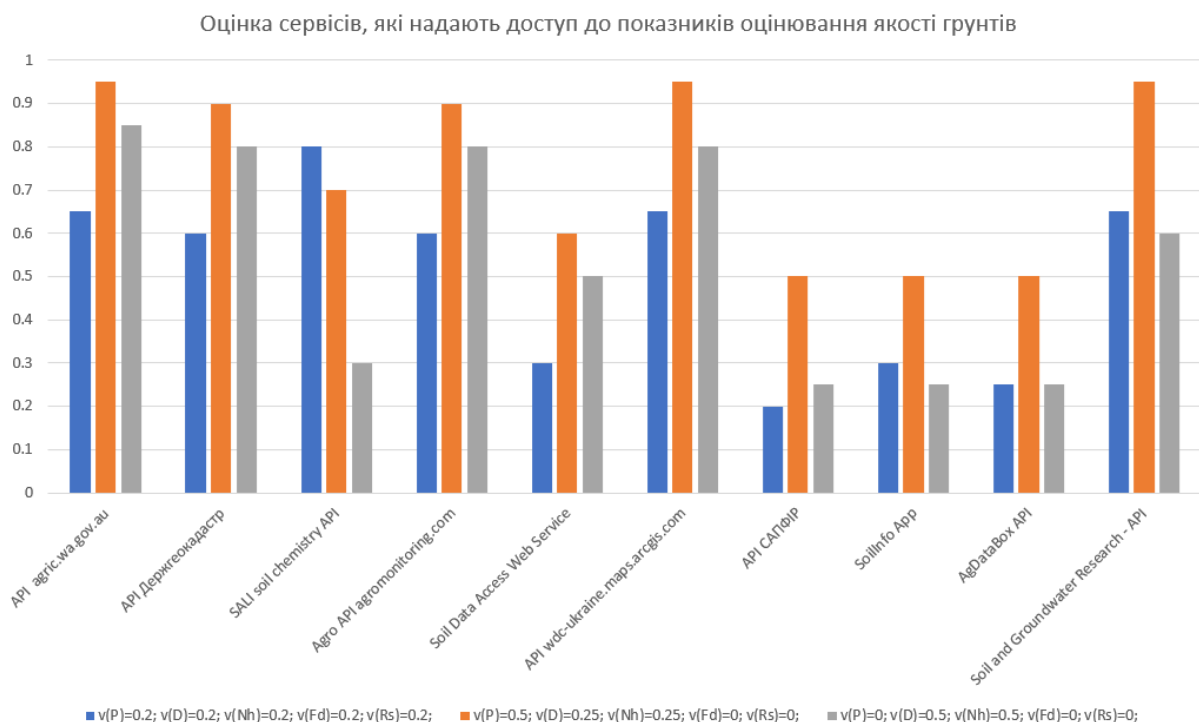


Рисунок 4.7 – Результати оцінки сервісів, які надають API-інтерфейси для оцінки якості та стану ґрунтів, їх можливого забруднення

2) $v(P)=0.5, v(D)=0.25, v(Nh)=0.25, v(Fd)=0, v(Rs)=0$ – варіант,

коли P - найважливіший тип, D (документація) та Nh (нефункціональні характеристики) мають однакову вагу, а показники Fd та Rs не враховуються, або ступінь їх впливу оцінити складно, враховуючи специфіку предметної області.

3) $v(P)=0$, $v(D)=0.5$, $v(Nh)=0.5$, $v(Fd)=0$, $v(Rs)=0$ варіант, коли аналізується тільки тип D (документація) та Nh (нефункціональні характеристики), які мають однакову вагу при обчисленні інтерпретованості I_p .

Як бачимо з рисунка 4.7, значення показника інтерпретованості змінюються залежно від коефіцієнтів зважування факторів, які відображають різні вимоги, що можуть ставитися клієнтами в процесі отримання та використання вказаних сервісів. Проте, у всіх трьох випадках наборів вагових коефіцієнтів, які зазначено вище, більшість АРІ-інтерфейсів мають високі значення показника інтерпретованості I_p (зокрема, $I_p \geq 0.5$).

Отже, іншу частину сервісів (з меншою інтерпретованістю) можна включити із подальшого аналізу. Використання зазначеного підходу дозволить пришвидшити процес обрання комунікаційних сервісів в залежності від конкретних вимог.

Результати, які отримані під час проведених досліджень використано з метою отримання якісного допоміжного інструментарію для ідентифікації надійних (в інформаційному розумінні) сервісів, які надають інформацію щодо забруднення ґрунту та ґрунтових вод. Така інформація необхідна для розв'язування задач ідентифікації, моделювання та моніторингу особливо небезпечних джерел забруднення ґрунту та ґрунтових вод.

Висновки до розділу 4

1. Розглянуто особливості процесу оцінки інформації на предмет актуальності та достовірності. Відсутність належних підходів, які прості у використанні та реалізації, спонукали до розробки відповідної системи

показників та методів оцінки недостовірної та неактуальної інформації. Використання запропонованих методів дозволило підвищити ступінь розпізнавання джерела інформації на предмет розміщення неактуальної та недостовірної інформації.

2. Запропонований метод програмно реалізований як надбудова до існуючих рішень в рамках окремих програмних модулів і можуть ефективно використовуватися для оцінки достовірності інформації. Ефективність запропонованих методів підтверджена.

3. Актуальність інформації про сервіси в сервісно-орієнтованих архітектурах відіграє важливу роль для виявлення та зменшення недостовірної інформації та підтримки ефективних методів вибору інформаційного джерела та комунікаційних засобів формування самих сервісів. Запропоновано метрику оцінки актуальності інформації в сервісно-орієнтованих системах, яка дозволила сформувавши основу для управління якістю та контекстом у веб-сервісах.

4. Запропоновано метод фільтрування даних на основі метрики оцінки актуальності інформації в сервісно-орієнтованих системах, що дозволило зменшити ступінь отримання неактуальної інформації в процесі формування та виконання відповідних сервісів. Достовірність запропонованого підходу підтверджена експериментально на прикладі оцінки сервісів, які надають доступ до оцінювання якості ґрунтів та ґрунтових вод.

5. Запропоновані методи дозволяють підвищити якість оцінки актуальності інформації, що безпосередньо впливає на ефективність побудови математичних моделей в розрізі забезпечення повноти структури моделі, опису об'єкта моделювання, стійкості до зміни стану середовища, чи умов отримання інтервальних даних.

РОЗДІЛ 5.

ОНТОЛОГІЧНО-КЕРОВАНА ПРОГРАМНА СИСТЕМА ІНТЕРВАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Нові гібридні методи структурної та параметричної ідентифікації моделей об'єктів, які представлені у вигляді інтервальних різницевих рівнянь, відрізняються від існуючих використанням як високоефективних алгоритмів штучної бджолиної колонії для розв'язування задач оптимізації структури та параметрів моделі, так і методів онтологічного підходу для формального представлення предметної області, що забезпечує підвищення прогностичних характеристик моделей і розширення сфери та умов їх застосування при спрощенні обчислювальної складності оперування моделлю.

Даний розділ присвячений питанням обґрунтування використання онтологічного підходу, як ефективного інструмент управління процесами побудови математичних моделей на основі інтервальних даних та використання цих моделей для прикладних задач. Використання онтологічної моделі дало можливість формалізувати процес отримання, зберігання та використання знань, які отримано в процесі математичного моделювання.

Онтологічний підхід програмно імплементовано до формалізації як самих математичних моделей на основі інтервальних даних, так і формалізації особливостей їх використання. Такий підхід дозволяє значно спростити процес створення математичної моделі, маніпулювання, повторного використання та апробації у реалізованому програмному середовищі, так і спрощує процес синхронізації у відповідних зовнішніх програмно-інтерпретованих середовищах.

У розділі також представлено особливості побудови архітектури програмного забезпечення для математичного моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу.

Описано технологію створення програмного забезпечення на основі розробленої онтологічної надбудови для математичного моделювання з

використанням інтервальних даних для різних об'єктів, а також різних форм реалізації інтерфейсу користувача.

Наведено ряд діаграм, які ілюструють особливості використання онтологічного підходу на основі інтервальних даних та описано особливості його інтерпретації в прикладних сферах, зокрема, в задачах медицини, екологічного моніторингу та при використанні веб-орієнтованих інформаційних систем.

Основні результати цього розділу опубліковано автором у працях [42, 58, 121, 165, 166, 182, 183, 184, 205, 237, 238, 242, 243-248, 250, 266].

5.1. Архітектура онтологічно-керованої системи інтервального моделювання складних об'єктів

Нова концепція побудови математичних та комп'ютерних моделей, відрізняється від існуючих поєднанням методів аналізу інтервальних даних та методів онтологічного аналізу, що забезпечує підвищення прогностичних характеристик моделей і розширення сфери та умов їх застосування.

Нові гібридні методи структурної та параметричної ідентифікації моделей об'єктів у вигляді інтервальних різницевих рівнянь, відрізняються від існуючих використанням як високоефективних алгоритмів штучної бджолиної колонії для розв'язування задач оптимізації структури та параметрів моделі, так і методів онтологічного підходу для формального представлення предметної області, що забезпечує підвищення прогностичних характеристик моделей і розширення сфери та умов їх застосування при спрощенні обчислювальної складності оперування моделлю [58, 121, 165, 205, 237, 238, 242, 243-248, 250].

В процесі виконання дисертаційного дослідження було створено нове комплексне програмне середовище для моделювання складних об'єктів у вигляді інтервальних різницевих рівнянь на основі поєднання онтологічного

підходу та аналізу інтервальних даних, яке забезпечує спрощення доступу користувачів до запропонованих засобів моделювання [49, 248, 250].

Програмний комплекс належить до класу об'єкто-орієнтованих систем, розроблений з використанням технології Spring framework на мові програмування Java, а також інтерпретатором Python [96, 174]. В якості Python інтерпретатора було обрано Jython, який повністю написаний на Java і добре підходить для реалізації спеціалізованих аплетів [49, 69, 84, 175]. Загальна архітектура комплексу представлена на рисунку 5.1.

З представленої архітектури програмного комплексу можна виділити декілька основних підсистем:

- онтологічно-керована система інтервального моделювання, яка включає модуль формування онтології математичного моделювання, модуль генерації, модуль реалізації семантичного аналізатора, модуль зовнішньої комунікації, модуль моделювання;
- онтологічна підсистема моделювання, яка включає модуль представлення самої онтологічної моделі, модуль реалізації методів вибору моделей, модуль перемикання параметрами у зв'язку із зміною умов моделювання;
- підсистема «Репозиторій інтервальних моделей», яка включає модуль інтерпретації моделей, модуль генерації моделей, семантичний аналізатор;
- підсистема «Репозиторій інтервальних моделей», яка включає модуль інтерпретації моделей, модуль генерації моделей, семантичний аналізатор;
- підсистема оцінки достовірності інформації, яка включає модуль обробки даних, які отримані із зовнішніх інформаційних систем, семантичний аналізатор, модуль оцінки достовірності інформації, модуль структурування даних та модуль накопичення проаналізованих даних;
- підсистема генерації програмних засобів для побудови інтервальних моделей складних об'єктів, яка включає модуль побудови

інтервальних моделей, модулі реалізації методів структурної та параметричної ідентифікації, модуль проведення експериментів та інтерфейсний модуль;

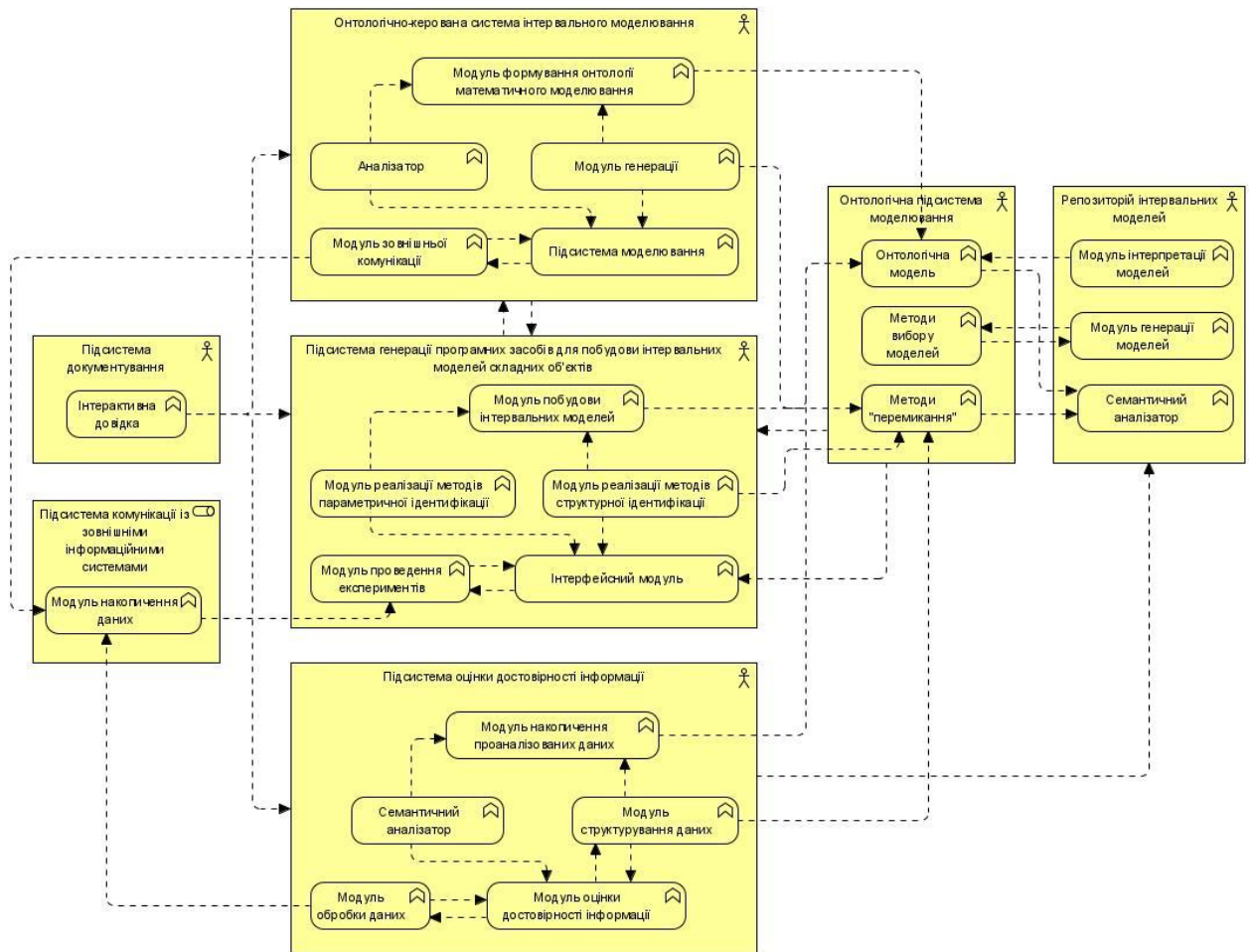


Рисунок 5.1 – Загальна архітектура програмного комплексу

- підсистема комунікації із зовнішніми інформаційними системами, яка використовується для збору та накопичення даних з метою їх використання в середовищі моделювання;
- підсистема документування, яка використовується з метою формування інтерактивної довідки із описом основних особливостей використання програмного комплексу для моделювання складних об'єктів.

На рисунку 5.2 представлено загальну діаграму варіантів використання програмного комплексу для моделювання на основі методів інтервального аналізу та онтологічного підходу.

Основними користувачами системи є дослідник, адміністратор та користувач, які можуть виконувати визначений набір функцій, які представлено на рисунку 5.2.

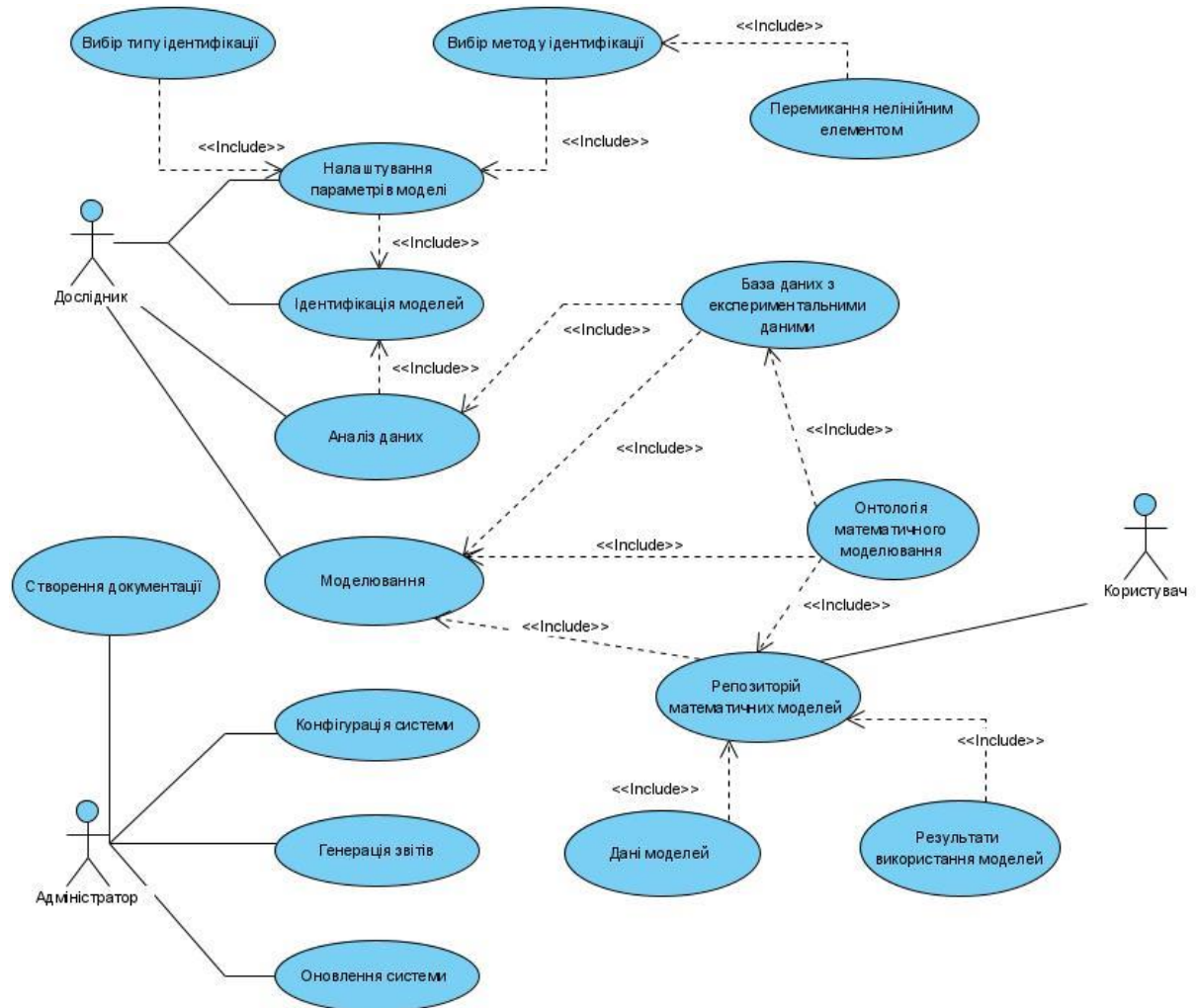


Рисунок 5.2 – Use-case діаграма системи для математичного моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу

Як показано на рисунку 5.2 дослідник має можливість налаштування параметрів моделі, вибір методів та типу ідентифікації, здійснення процедури моделювання із можливістю проведення експериментальних досліджень та аналізом даних. При виборі користувачем структурної ідентифікації, є можливість перевірки повноти опису моделі з використанням онтології математичного моделювання та репозиторію інтервальних моделей.

На рисунку 5.3 представлено відповідну діаграму послідовності для дослідника в процесі побудови математичної моделі, або її вибору із репозиторію математичних моделей.

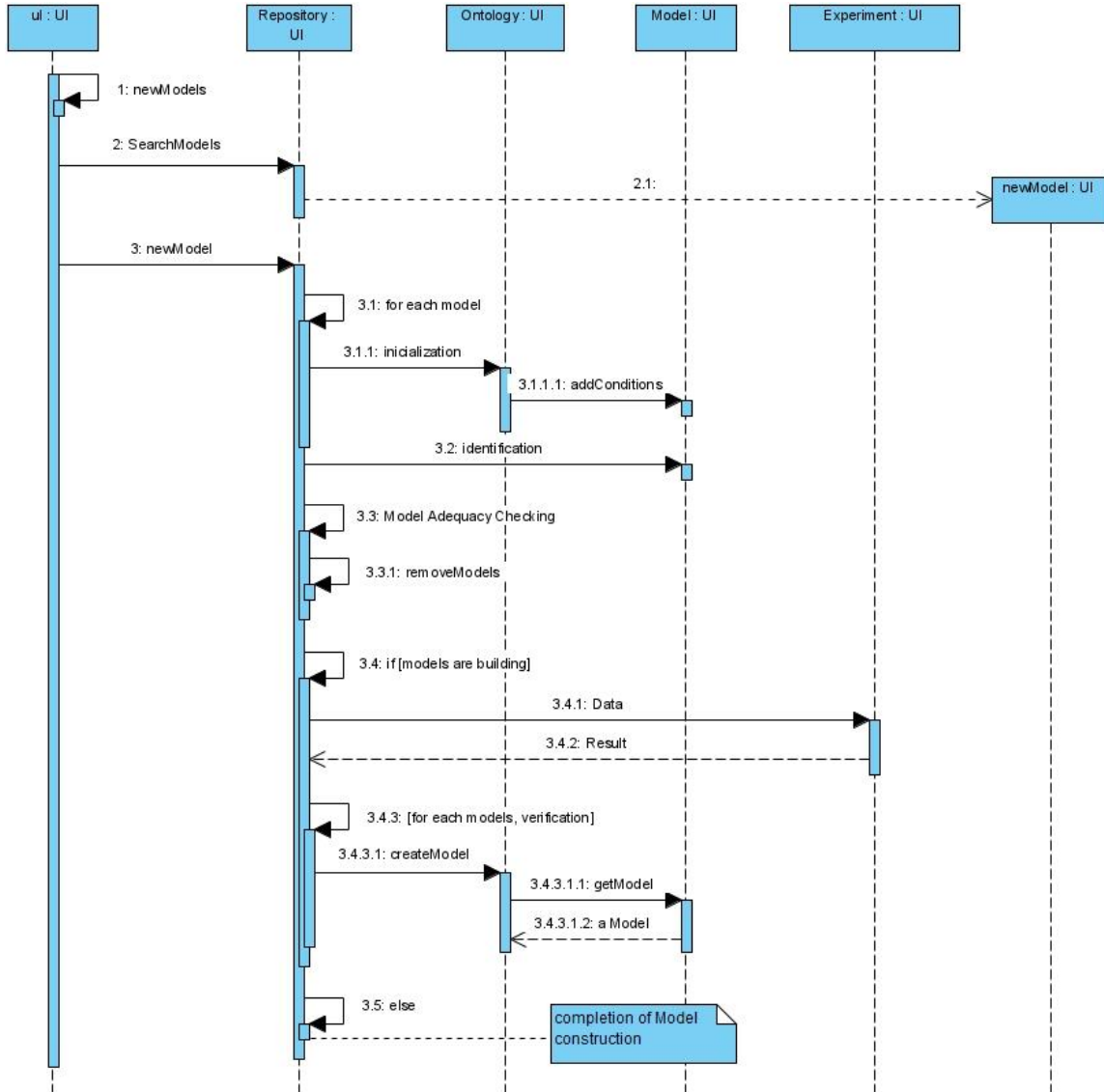


Рисунок 5.3 – Діаграма послідовності побудови математичної моделі або її пошуку в репозиторії інтервальних математичних моделей

Системний адміністратор має можливість конфігурувати систему, здійснювати генерацію звітів, а також здійснювати оновлення програмного забезпечення. На рисунку 5.4 представлена відповідна діаграма послідовності.

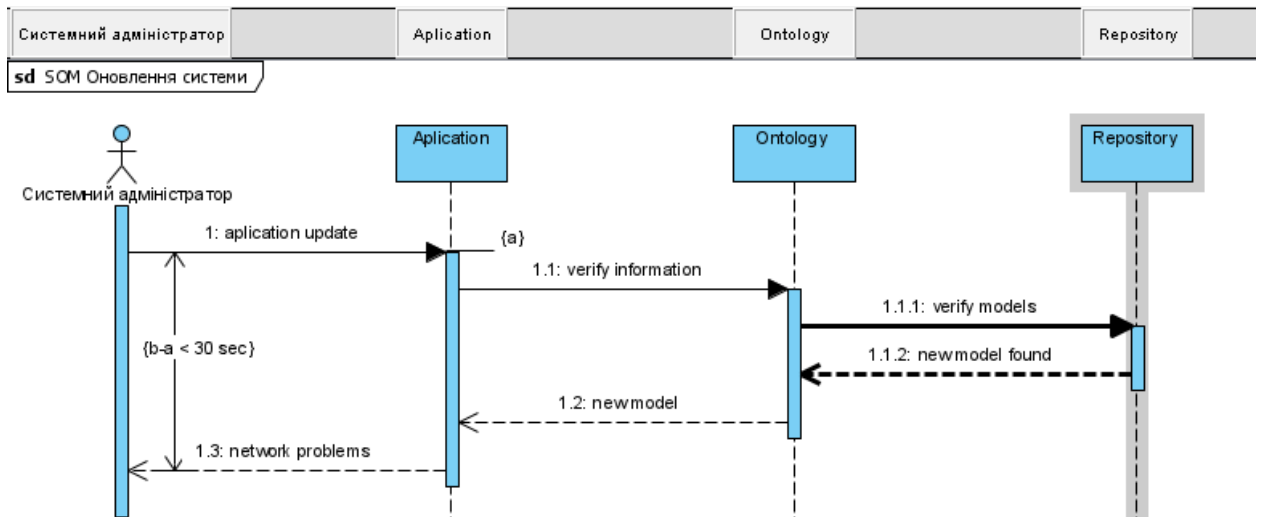


Рисунок 5.4 – Діаграма послідовності оновлення системи на наявність нових моделей у репозиторії

Звичайний користувач програмного комплексу через згенеровані програмні засоби для побудови інтервальних моделей складних об'єктів може працювати із репозиторієм математичних моделей, який також включає можливість повторного використання даних, а також аналіз застосування результатів моделювання. На рисунку 5.5 представлено відповідну діаграму послідовності для даного користувача.

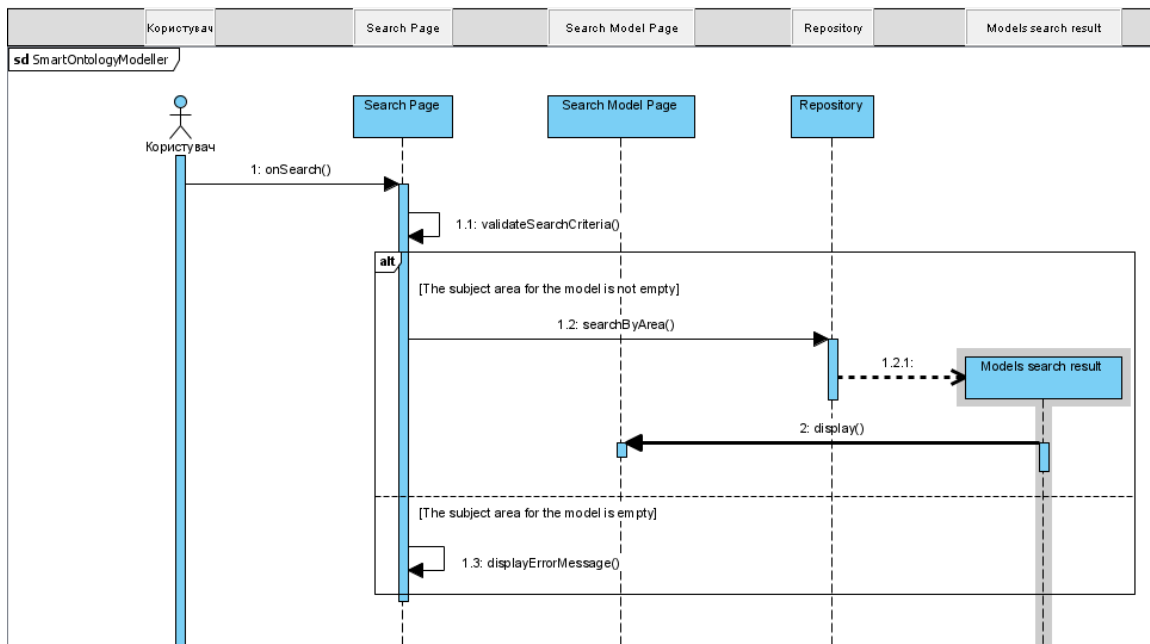


Рисунок 5.5 – Діаграма послідовності пошуку моделі за обраним критерієм в репозиторію

На рисунку 5.6 представлено узагальнену діаграму діяльності, яка описує основні процеси та позначає рішення, які виникають на етапі експлуатації програмного комплексу. Стрілками на діаграмі показано порядок, в якому відбуваються активності.

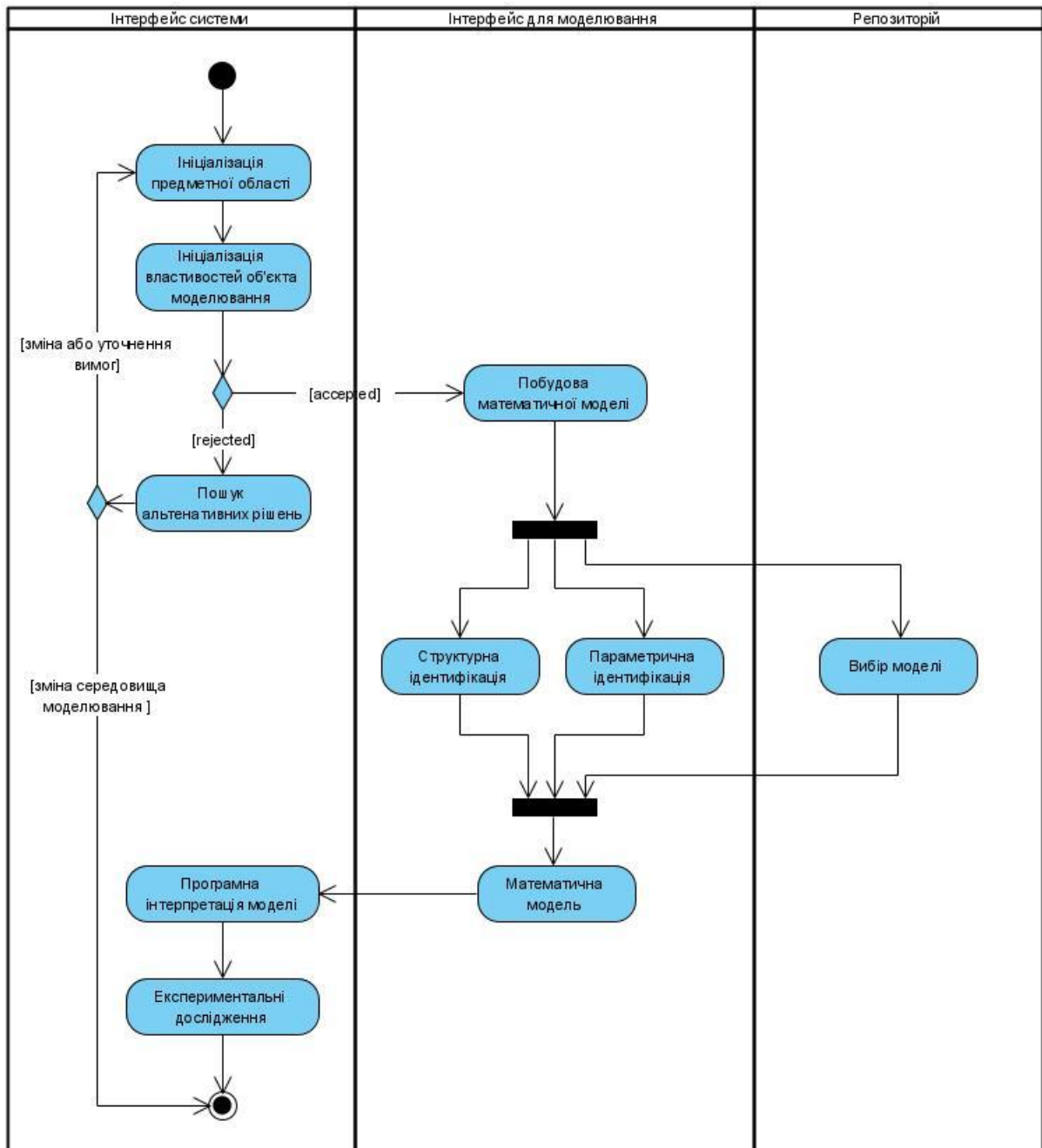


Рисунок 5.6 – Узагальнена діаграма діяльності

Основним користувачем програмного комплексу є дослідник. На рисунку 5.7 представлено діаграму комунікації, яка показує взаємодії між

об'єктами в термінах впорядкованих повідомлень. Як видно з рисунка 5.7 дослідник послідовно виконує операції із системою, починаючи від вибору предметної області і завершуючи отриманням результату.

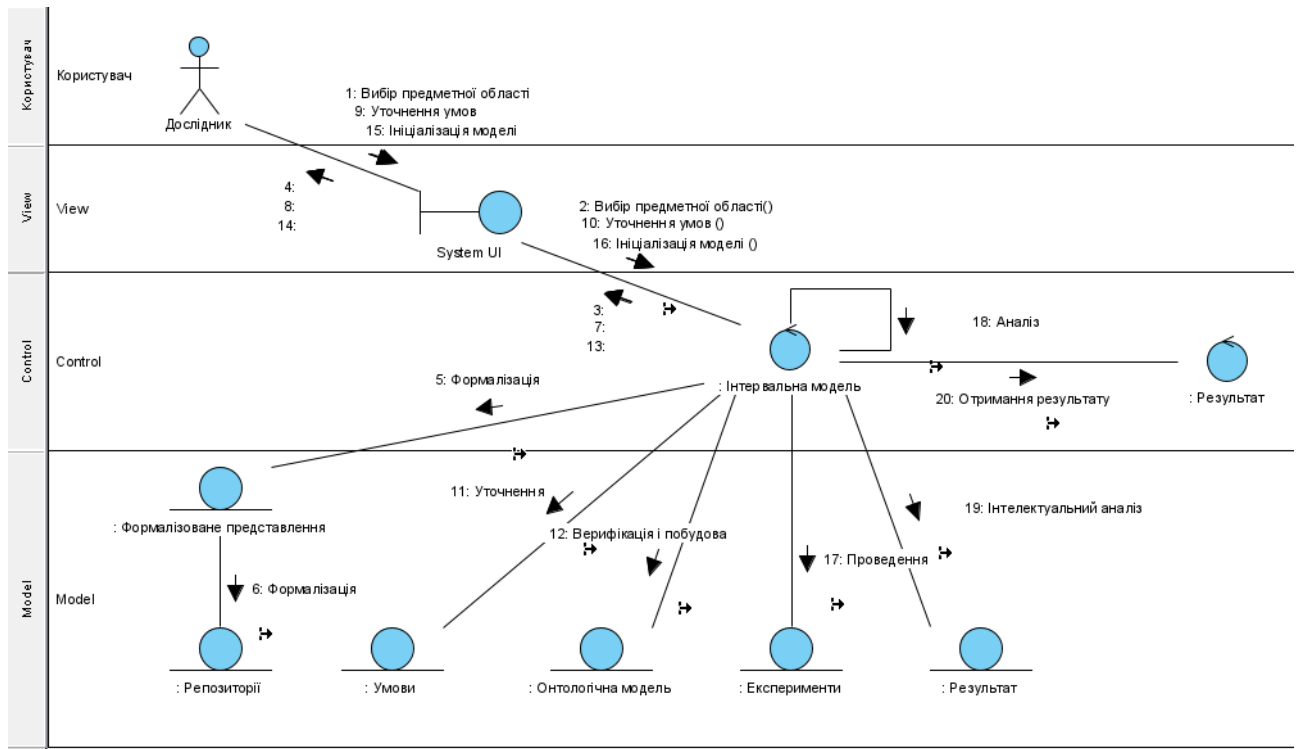


Рисунок 5.7 – Узагальнена діаграма комунікації

На рисунку 5.8 представлена діаграма класів програмного комплексу для математичного моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу.

Основними класами є *Ontology* та *Model*, які використовуються для представлення та опрацювання інформації про предметну область моделювання, об'єкт моделювання, умови, які уточнюють поведінку об'єкта в тій чи іншій ситуації.

Клас *Model* окрім атрибутів, які характеризують саме представлення моделі, містить реалізовані методи моделювання складних об'єктів та відповідних процесів та методи структурної та параметричної ідентифікації цих моделей.

Важливими характеристиками, які пов'язані з класом Model є такі як тип моделі, структура моделі, методи ідентифікації, ініціалізація, параметри моделі та тип параметрів моделі. Ці характеристики реалізовані у відповідних класах:

- клас Structure – використовується для представлення інформації про структуру моделі, методи пошуку структурних елементів та відповідні методи структурної ідентифікації;

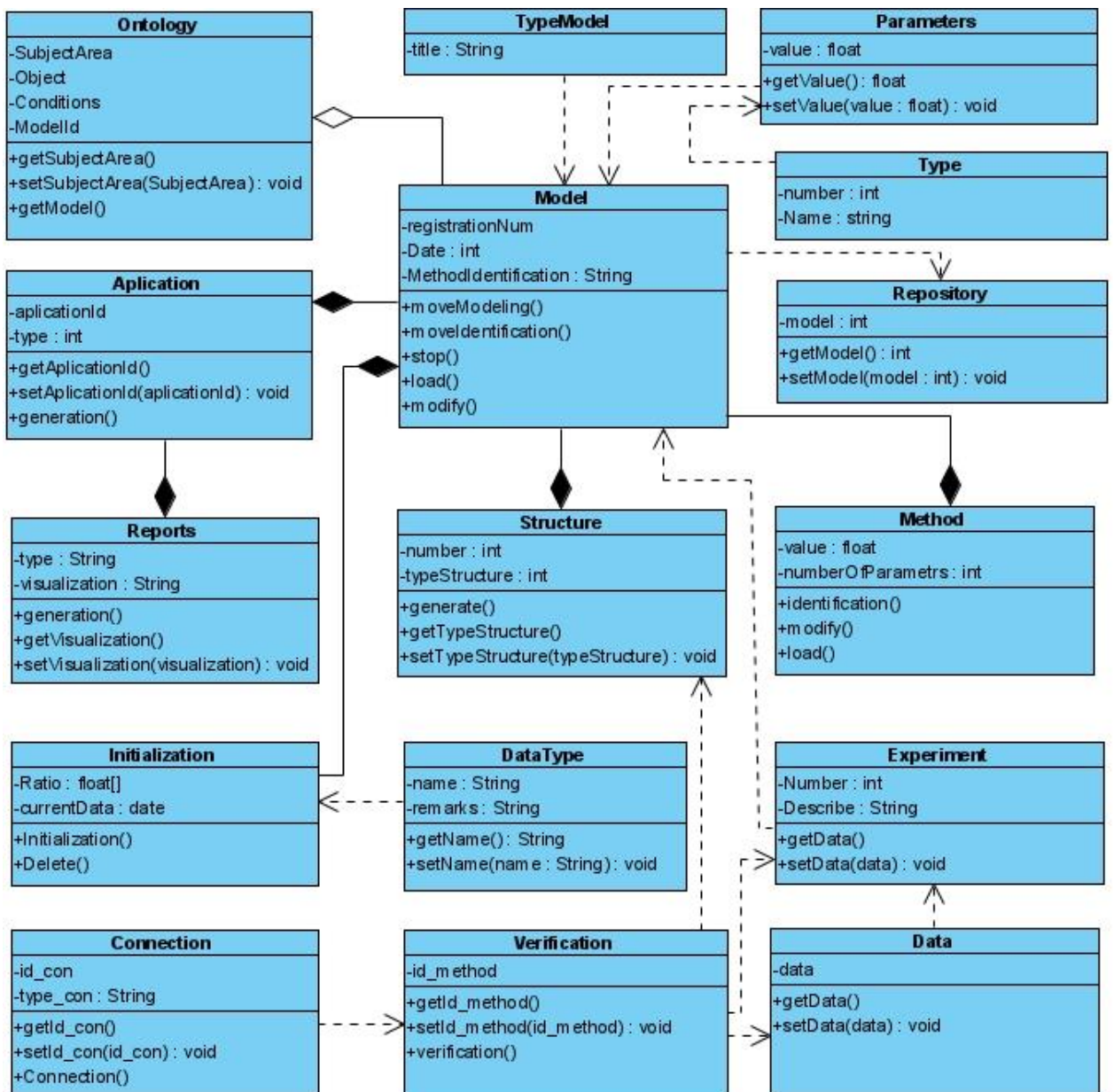


Рисунок 5.8 – Діаграма класів програмного комплексу для моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу

- клас Method – використовується для реалізації методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей;
- класи Parameters та Type описують набір параметрів, зміна яких характеризується відповідними залежностями.
- клас Initialization - використовується для фази ініціалізації моделі в програмному середовищі.

Однією з ключових особливостей програмного комплексу є реалізована функціональність, яка використовується для генерування засобів у вигляді програмного забезпечення для побудови інтервальних моделей. Сюди відносять наступні класи:

- клас Application та клас Reports. Перший клас на основі відповідних залежностей, які формалізовано представлені в класах Ontology та Model та з використанням відповідних реалізованих методів – getApplicationId() та generation() дозволяє здійснювати генерування інструментальних засобів для математичного моделювання в межах вибраної предметної області.

Клас Repository реалізовує функціонал, який дозволяє управляти накопиченою базою математичних моделей, особливостями проведення експериментів та поповнення репозиторію із зовнішніх інформаційних систем.

З метою отримання даних для проведення експериментальних досліджень налагоджено комунікацію із зовнішніми джерелами, основний функціонал якої реалізовано з використанням класу Connection.

В рамках програмного комплексу реалізовано підсистему для оцінки достовірності інформації. Основними класами в її підсистемі є Verification, Data та Experiment. Функціональне поєднання цих класів дозволило реалізувати оцінку достовірності інформації в процесі забезпечення повноти структури моделі та опису об'єкта моделювання.

Інші класи, які реалізовані в рамках комплексу носять допоміжний характер і призначені для забезпечення функціональної повноти програмного комплексу для моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу.

Програмний комплекс складається із шести великих компонент, які об'єднані у відповідні підсистеми, які детально представлено на рисунку 5.9.

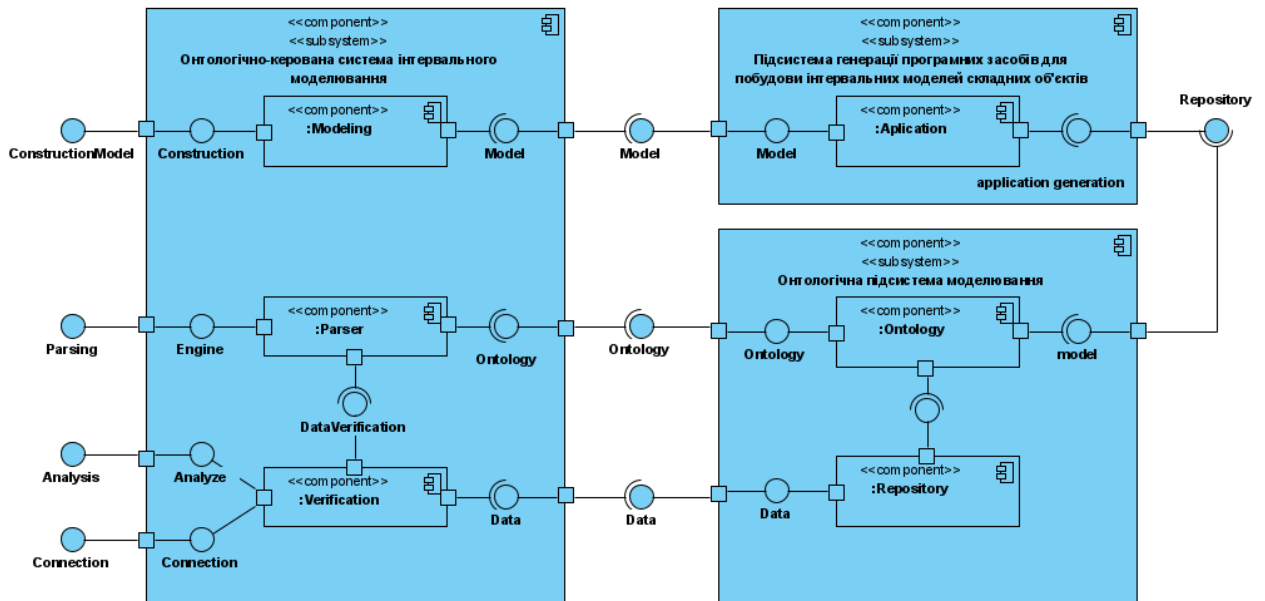


Рисунок 5.9 – Діаграма компонентів програмного комплексу для моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу

Перша компонента Modeling є основою для реалізації методів структурної та параметричної ідентифікації. Друга компонента Parser, слугує засобом для реалізації методів аналізу та структурування даних. Третя компонента Verification є основою для реалізації методів оцінки достовірності та актуальності отриманої в процесі аналізу інформації. Четверта компонента слугує базою для реалізації онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних. П'ята компонента Repository є основою для формування репозиторію математичних моделей. Шоста компонента Application використовується для генерування інструментальних засобів для математичного моделювання в межах вибраної предметної області.

Як видно з рисунка 5.9, взаємодія між компонентами реалізована за допомогою відповідних класів – Data, Ontology, Model, ApplicationGeneration, Repository.

Програмний комплекс для моделювання на основі інтервального та онтологічного підходів розроблений з використанням технології Spring framework на мові програмування Java, а також інтерпретатором Python. В якості Python інтерпретатора було обрано Jython. В якості СУБД використовується MySQL версії 5.7.

Генерація інструментальних засобів для математичного моделювання здійснюється у формі окремого веб-додатку, а в якості веб-сервера, що написаний на Java, використовується Apache Tomcat. Детальну діаграму розгортання представлено на рисунку 5.10.

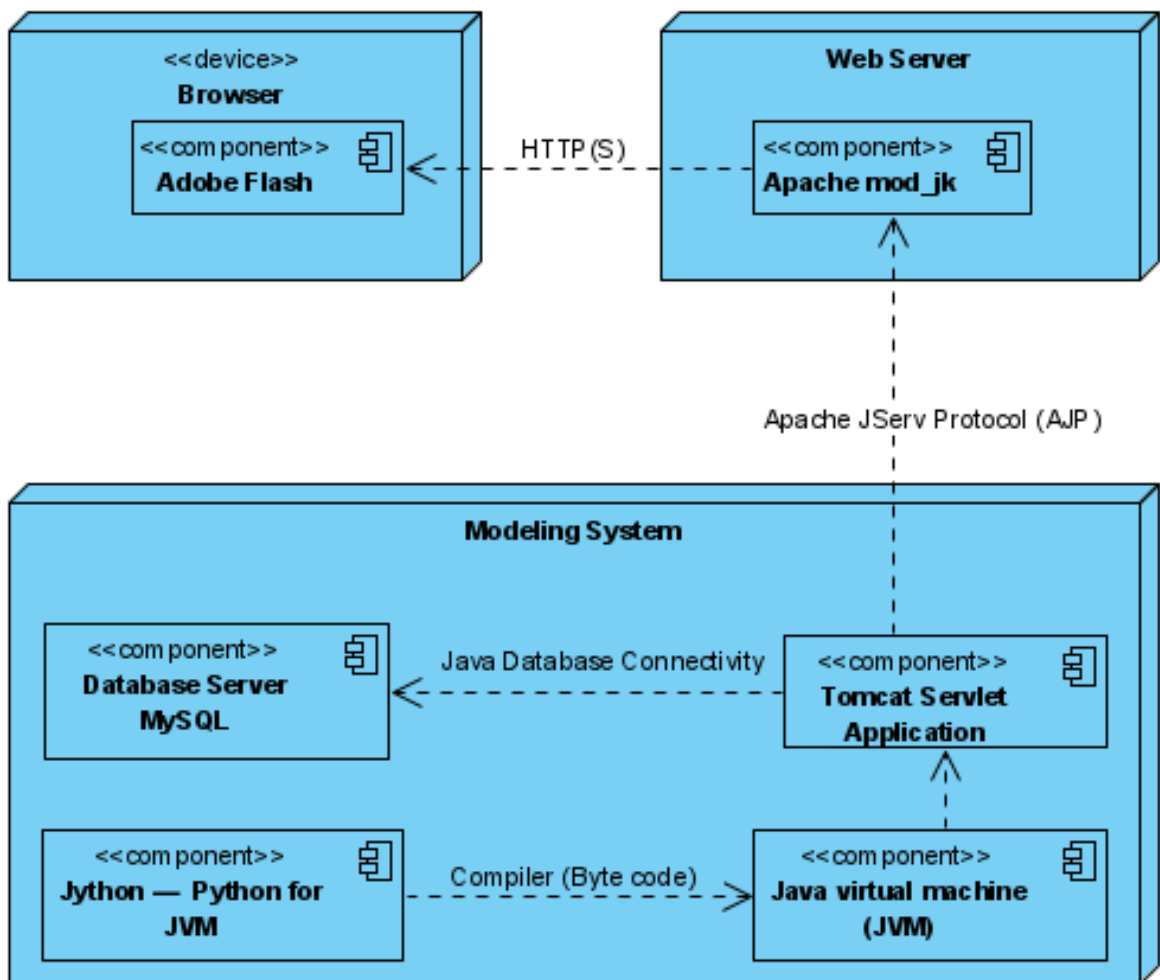


Рисунок 5.10 – Діаграма розгортання програмного комплексу для моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу

5.2. Проектування та реалізація підсистеми зберігання інформації

Важливим етапом реалізації програмного комплексу для моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу є проектування та програмна реалізація підсистеми зберігання інформації. Для програмної реалізації комплексу було обрано СУБД MySQL. Основними критеріями такого вибору є висока продуктивність опрацювання даних та наявність широкого спектру реалізованих засобів комунікації із зовнішніми інформаційними системами.

MySQL забезпечує високу швидкість обробки транзакцій з оптимальною швидкістю, здатний здійснювати кешування результатів, що підвищує продуктивність зчитування даних. Реплікація та кластеризація забезпечують кращу паралельність і дозволяють здійснювати динамічне управління навантаженням. Для підвищення продуктивності опрацювання великих обсягів даних та пришвидшення пошуку даних, в MySQL індекси бази даних включені в загальну схему організації продуктивності системи.

На рисунку 5.11 наведено загальну ER діаграму бази даних, яка використовується для зберігання інформації в процесі моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу. Для забезпечення основного функціоналу системи реалізовано основні та допоміжні відношення. Розглянемо детальніше спроектовані відношення. Атрибути відношень відображають основні характеристики виділених сутностей, а тип даних та розмірність цих атрибутів формувалася виходячи із їх фізичної інтерпретації.

Основним відношенням в базі даних є “model”, яке містить інформацію про предметну область моделювання, детальний словесний опис, посилання на об’єкт моделювання, інформацію про пов’язані методи структурної та параметричної ідентифікації, набір характеристик перебігу експериментів, а також інформацію про можливість генерування інструментальних програмних засобів для подальшого практичного використання цих моделей.

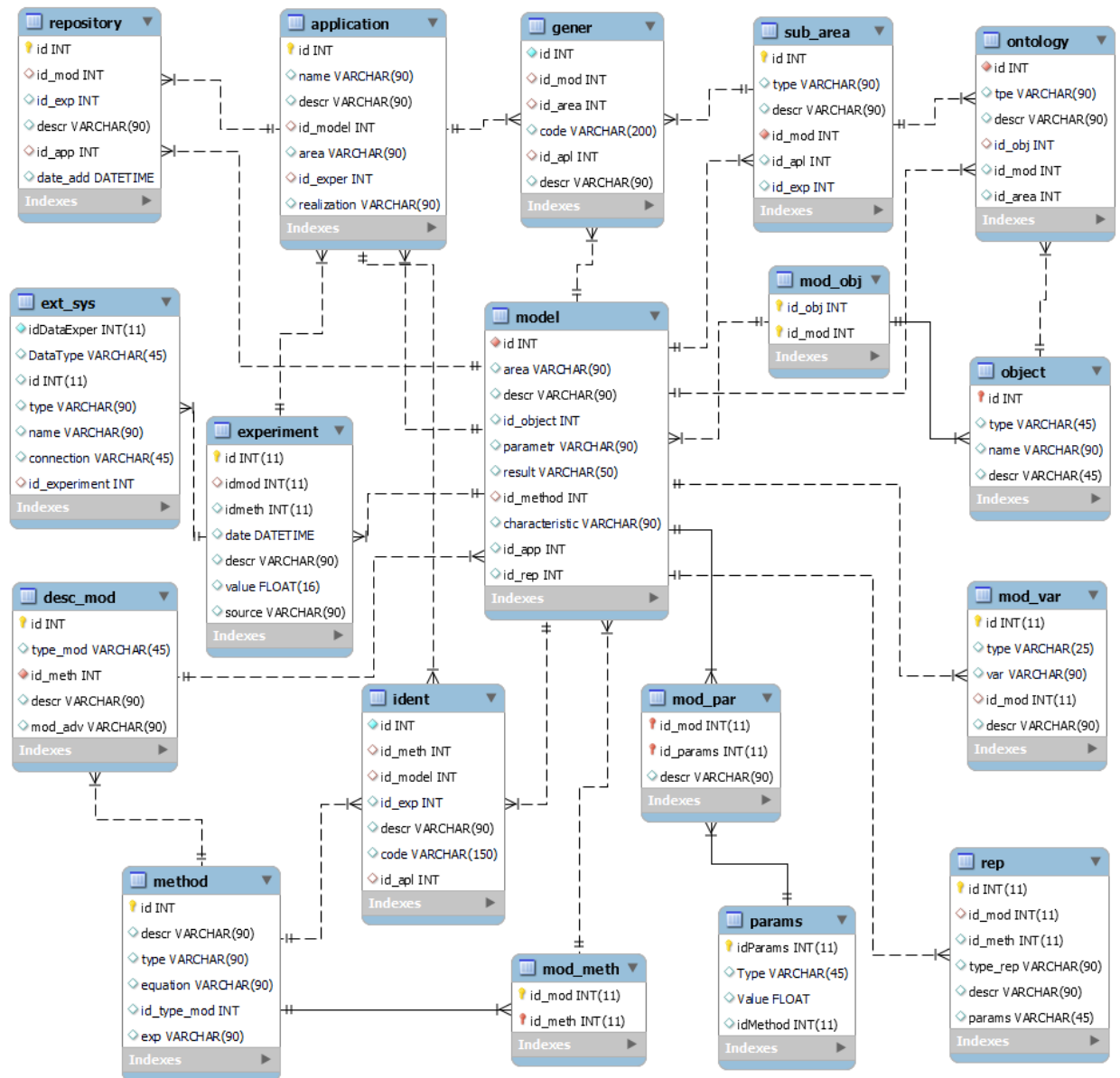


Рисунок 5.11 – ER-діаграма бази даних системи для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу

Структура відношення “model” представлена на рисунку 5.12.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
area	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_object	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
parametr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
result	VARCHAR(50)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_method	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
characteristic	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_app	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_rep	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
modelcol	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.12 – Структура відношення «model»

Важливим аспектом розуміння організації підсистеми зберігання інформації є наявність встановлених зв'язків між сутностями предметної області та їх імплементація в конкретній СУБД. Для вирішення цієї проблеми в роботі використано представлення DDL описів ключових відношень.

DDL опис для відношення «model»:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`model` (
  `id` INT NOT NULL,
  `area` VARCHAR(90) NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `id_object` INT NOT NULL,
  `parametr` VARCHAR(90) NULL,
  `result` VARCHAR(50) NULL,
  `id_method` INT NOT NULL,
  `characteristic` VARCHAR(90) NULL,
  `id_app` INT NOT NULL,
  `id_rep` INT NOT NULL,
  INDEX `meth_idx` (`id_method` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `meth`
    FOREIGN KEY (`id_method`)
    REFERENCES `som`.`mod_meth` (`id_meth`),
  CONSTRAINT `t1`
    FOREIGN KEY (`id`)
    REFERENCES `som`.`desc_mod` (`id`)
  CONSTRAINT `t2`
    FOREIGN KEY (`id`)
    REFERENCES `som`.`mod_obj` (`id_mod`))
ENGINE = InnoDB
```

Для представлення інформації про методи структурної та параметричної ідентифікації використовується відношення «method», структуру якого представлено на рисунку 5.13. Ключовими атрибутами даного відношення є *equation* – використовується для формалізованого математичного представлення опису та реалізації конкретного методу, *exp* – використовується для опису пов'язаних експериментальних досліджень та *id_type_mod* – ідентифікатор типу відповідних моделей.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
type	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
equation	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_type_mod	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
exp	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.13 – Структура відношення «method»

DDL представлення відношення «method»:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`method` (
  `id` INT NOT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `type` VARCHAR(90) NULL,
  `equation` VARCHAR(90) NULL,
  `id_type_mod` INT NULL,
  `exp` VARCHAR(90) NULL,
  PRIMARY KEY (`id`))
ENGINE = InnoDB
```

Необхідно відзначити, що через додаткове відношення – `mod_meth` реалізовано зв'язок з відношенням “`model`”, який показує можливість застосування конкретних методів ідентифікації для визначеного типу чи конкретної інтервальної моделі.

Інформація про предметну область зберігається у відношенні “`sub_area`” (рисунок 5.14). Ключовими атрибутами у даному відношенні є `type`, `descr`, `id_mod`, які використовуються для представлення опису предметної області та його зв'язку з відповідною математичною моделлю.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
type	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
id_mod	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_apl	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
id_exp	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.14 – Структура відношення «sub_area»

DDL представлення відношення «sub_area» наведено нижче:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`sub_area` (
  `id` INT NOT NULL,
  `type` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `id_mod` INT NOT NULL,
  `id_apl` INT NULL DEFAULT NULL,
  `id_exp` INT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  INDEX `m1_idx` (`id_mod` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `m1`
    FOREIGN KEY (`id_mod`)
    REFERENCES `som`.`model` (`id`))
ENGINE = InnoDB
```

Для уточнення інформації, яка стосується використання математичних моделей, реалізовано кілька додаткових відношень - «object», «params», «desc_mod», . Інформація про об'єкт моделювання представлена у відношенні «object» (рисунок 5.15).

До ключових атрибутів даного відношення віднесено name та descr, які визначають сам об'єкт моделювання та його деталізований опис.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
type	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
name	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
descr	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.15 – Структура відношення «object»

DDL представлення відношення «object»:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`object` (
  `id` INT NOT NULL,
  `type` VARCHAR(45) NULL,
  `name` VARCHAR(90) NULL,
  `descr` VARCHAR(45) NULL,
  INDEX `obj_idx` (`id` ASC) VISIBLE,
  PRIMARY KEY (`id`),
  CONSTRAINT `obj`
  FOREIGN KEY (`id`)
  REFERENCES `som`.`mod_obj` (`id_obj`) )
ENGINE = InnoDB
```

Для деталізованого представлення інформації про особливості практичного функціонування моделей, відповідне групування по типах та додатковий опис використовується відношення «desc_mod» (рисунок 5.16).

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
type_mod	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
id_meth	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
mod_adv	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL

Рисунок 5.16 – Структура відношення «desc_mod»

DDL представлення відношення «desc_mod»:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`desc_mod` (
  `id` INT NOT NULL,
  `type_mod` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,
  `id_meth` INT NOT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `mod_adv` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  INDEX `d1_idx` (`id_meth` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `d1`
    FOREIGN KEY (`id_meth`)
    REFERENCES `som`.`method` (`id`)
)
ENGINE = InnoDB
```

Інформація, яка стосується параметрів математичних моделей відображена у відношенні «params» (рисунок 5.17), яке включає такі атрибути як type, value та idmethod – ідентифікатор методу параметричної ідентифікації моделі.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
idParams	INT(11)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
type	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
value	FLOAT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
idmethod	INT(11)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL

Рисунок 5.17 – Структура відношення «params»

Основні аспекти, які відносяться до характеристики процесів ідентифікації математичних моделей зберігаються у відношенні «ident» (рисунок 5.18).

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_meth	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_model	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_exp	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
code	VARCHAR(150)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_apl	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.18 – Структура відношення «ident»

DDL представлення відношення «ident»:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`ident` (
  `id` INT NOT NULL,
  `id_meth` INT NULL,
  `id_model` INT NULL,
  `id_exp` INT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `code` VARCHAR(150) NULL,
  `id_apl` INT NULL,
  INDEX `i1_idx` (`id_meth` ASC) VISIBLE,
  INDEX `i2_idx` (`id_model` ASC) VISIBLE,
  INDEX `i3_idx` (`id_apl` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `i1`
    FOREIGN KEY (`id_meth`)
    REFERENCES `som`.`method` (`id`),
  CONSTRAINT `i2`
    FOREIGN KEY (`id_model`)
    REFERENCES `som`.`model` (`id`),
  CONSTRAINT `i3`
    FOREIGN KEY (`id_apl`)
    REFERENCES `som`.`application` (`id`))
ENGINE = InnoDB
```

Процедура ідентифікації супроводжується відповідними характеристиками, які уточнюють особливості їх застосування для обраного типу моделей, та відповідними експериментальними дослідженнями. До ключових атрибутів даного відношення також належать `id_meth` (посилання на метод ідентифікації), `id_model` (ідентифікатор математичної моделі) та `code` (можливість та особливості програмної реалізації процедури ідентифікації).

Інша група відношень використовується для зберігання інформації про процедуру проведення експериментальних досліджень, відповідних експериментальних даних та особливостей налагодження комунікації із зовнішніми інформаційними системами. Це відношення «`experiment`», «`ext_sys`», та «`rep`».

Відношення «`experiment`» (рисунок 5.19) містить такі ключові атрибути як `source` – опис інформаційного джерела з якого отримано дані, `value` – конкретні значення, `date` – дата отримання чи проведення експерименту, `idmod` та `idmeth` – відповідно ідентифікатори моделі та методу ідентифікації.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT(11)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
idmod	INT(11)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
idmeth	INT(11)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
date	DATETIME	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
value	FLOAT(16)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
source	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.19 – Структура відношення «`experiment`»

DDL представлення відношення «`experiment`»:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`experiment` (
  `id` INT(11) NOT NULL,
  `idmod` INT(11) NULL DEFAULT NULL,
  `idmeth` INT(11) NULL DEFAULT NULL,
  `date` DATETIME NULL DEFAULT NULL,
```

```

`descr` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
`value` FLOAT(16) NULL DEFAULT NULL,
`source` VARCHAR(90) NULL,
PRIMARY KEY (`id`),
INDEX `e1_idx` (`idmod` ASC) VISIBLE,
CONSTRAINT `e1`
  FOREIGN KEY (`idmod`)
  REFERENCES `som`.`model` (`id`))
ENGINE = InnoDB

```

Відношення «ext_sys» (рисунок 5.20) містить такі ключові атрибути як name, type – відповідно назва та тип зовнішнього інформаційного джерела, connection – тип використовуваного зв'язку між інформаційними системами, id_experiment – ідентифікатор відповідного експерименту, datatype – тип оптимізованих даних.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT(11)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
datatype	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
type	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
name	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
connection	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_experiment	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.20 – Структура відношення «ext_sys»

DDL представлення відношення «ext_sys»:

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`ext_sys` (
  `id` INT(11),
  `datatype` VARCHAR(45),
  `type` VARCHAR(90) NULL,
  `name` VARCHAR(90) NULL,
  `connection` VARCHAR(45) NULL,
  `id_experiment` INT NULL,

```

```

INDEX `x1_idx` (`id_experiment` ASC) VISIBLE,
CONSTRAINT `x1`
  FOREIGN KEY (`id_experiment`)
  REFERENCES `som`.`experiment` (`id`) )
ENGINE = InnoDB

```

Відношення «гер» (рисунок 5.21) використовується для генерації відповідних звітів, які стосуються особливостей побудови математичних моделей та проведення відповідних експериментальних досліджень, а також це відношення є одним із базових, що використовується в процесі генерування відповідних інструментальних засобів.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT(11)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_mod	INT(11)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
id_meth	INT(11)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
type_rep	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL
params	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULL

Рисунок 5.21 – Структура відношення «гер»

DDL представлення відношення «гер»:

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`rep` (
  `id` INT(11) NOT NULL,
  `id_mod` INT(11) NULL DEFAULT NULL,
  `id_meth` INT(11) NULL DEFAULT NULL,
  `type_rep` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `params` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  INDEX `rp_idx` (`id_mod` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `rp`
    FOREIGN KEY (`id_mod`)

```

```
REFERENCES `som`.`model` (`id` )
ENGINE = InnoDB
```

Іншою важливою групою відношень є відношення, які використовуються для загального представлення онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу - «ontology» та «repository», яке використовується для накопичення даних відносно побудованих математичних моделей та особливостей їх використання.

Відношення «ontology» (рисунок 5.22) містить такі ключові атрибути як `id_area` – ідентифікатор предметної області, `id_obj` – ідентифікатор об'єкта, `id_mod` – ідентифікатор інтервальної математичної моделі, `descr` – загальний опис використання.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
type	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_obj	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_mod	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_area	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.22 – Структура відношення «ontology»

DDL представлення відношення «ontology»:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`ontology` (
  `id` INT NOT NULL,
  `type` VARCHAR(90) NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `id_obj` INT NOT NULL,
  `id_mod` INT NOT NULL,
  `id_area` INT NOT NULL,
  INDEX `o1_idx` (`id` ASC) VISIBLE,
```

```

INDEX `o3_idx` (`id_obj` ASC) VISIBLE,
PRIMARY KEY (`id`),
CONSTRAINT `o1`
  FOREIGN KEY (`id`)
  REFERENCES `som`.`sub_area` (`id`),
CONSTRAINT `o2`
  FOREIGN KEY (`id`)
  REFERENCES `som`.`model` (`id`),
CONSTRAINT `o3`
  FOREIGN KEY (`id_obj`)
  REFERENCES `som`.`object` (`id`)
ENGINE = InnoDB

```

Відношення «repository» (рисунок 5.23) містить такі ключові атрибути як `id_mod` – ідентифікатор інтервальної математичної моделі, `descr` – загальний опис моделі, `id_exp` – ідентифікатор експерименту, `id_app` – ідентифікатор типу генерованого інструментального засобу, `date_add` – дата додавання моделі в репозиторії.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_mod	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_exp	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_app	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
date_add	DATETIME	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.23 – Структура відношення «repository»

DDL представлення відношення «repository»:

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`repository` (
  `id` INT NOT NULL,
  `id_mod` INT NULL,

```

```

`id_exp` INT NULL,
`descr` VARCHAR(90) NULL,
`id_app` INT NULL,
`date_add` DATETIME NULL,
PRIMARY KEY (`id`),
INDEX `r1_idx` (`id_mod` ASC) VISIBLE,
INDEX `r2_idx` (`id_app` ASC) VISIBLE,
CONSTRAINT `r1`
  FOREIGN KEY (`id_mod`)
  REFERENCES `som`.`model` (`id`),
CONSTRAINT `r2`
  FOREIGN KEY (`id_app`)
  REFERENCES `som`.`application` (`id`)
  REFERENCES `som`.`model` (`id`)
ENGINE = InnoDB

```

Однією із основних функцій програмного комплексу для моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу є можливість генерувати інструментальні засоби для побудови інтервальних моделей.

Основні інформаційні масиви, які використовуються для досягнення даних цілей описуються наступними відношеннями «application» та «gener» відповідно.

Відношення «application» (рисунок 5.24) містить такі ключові атрибути як name – назва згенерованого засобу, descr – загальний опис, id_model – ідентифікатор формалізованої математичної моделі, area – предметна область, realization – структурований опис засобів реалізації генерованого інструментального засобу, який використовується для математичного моделювання складних об'єктів та відповідного управління процесами прикладній предметній області.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
name	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_model	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
area	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_exper	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
realization	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.24 – Структура відношення «application»

DDL представлення відношення «application»:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`application` (
  `id` INT NOT NULL,
  `name` VARCHAR(90) NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `id_model` INT NULL,
  `area` VARCHAR(90) NULL,
  `id_exper` INT NULL,
  `realization` VARCHAR(90) NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  INDEX `p1_idx` (`id_model` ASC) VISIBLE,
  INDEX `p2_idx` (`id_exper` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `p1`
    FOREIGN KEY (`id_model`)
    REFERENCES `som`.`model` (`id`),
  CONSTRAINT `p2`
    FOREIGN KEY (`id_exper`)
    REFERENCES `som`.`experiment` (`id`))
ENGINE = InnoDB
```

Відношення «gener» (рисунок 5.25) використовується для зберігання інформації, яка використовується в процесі генерування інструментальних засобів для моделювання на основі інтервального аналізу та містить такі ключові атрибути як `id_area` – ідентифікатор предметної області, `id_mod` –

ідентифікатор моделі, code – програмний код реалізації процедури генерування, id_apl – ідентифікатор згенерованого засобу, descr – загальний опис.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_mod	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_area	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
code	VARCHAR(200)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
id_apl	INT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
descr	VARCHAR(90)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 5.25 – Структура відношення «gener»

DDL представлення відношення «gener»:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`gener` (
  `id` INT NOT NULL,
  `id_mod` INT NULL,
  `id_area` INT NULL,
  `code` VARCHAR(200) NULL,
  `id_apl` INT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  INDEX `g1_idx` (`id_apl` ASC) VISIBLE,
  INDEX `g2_idx` (`id_mod` ASC) VISIBLE,
  INDEX `g3_idx` (`id_area` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `g1`
    FOREIGN KEY (`id_apl`)
    REFERENCES `som`.`application` (`id`),
  CONSTRAINT `g2`
    FOREIGN KEY (`id_mod`)
    REFERENCES `som`.`model` (`id`),
  CONSTRAINT `g3`
    FOREIGN KEY (`id_area`)
    REFERENCES `som`.`sub_area` (`id`))
ENGINE = InnoDB
```

Інші відношення використовуються для забезпечення цілісності та повноти функціонування системи. В додатку Б наведено опис DDL відношень підсистеми зберігання та обробки даних системи математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу.

5.3. Програмна реалізація системи для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу

На основі описаної в параграфах 5.1 та 5.2 архітектури програмного забезпечення реалізовано програмний комплекс для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу.

Оскільки функціонально система поділена між трьома групами користувачів, а саме між дослідником, адміністратором та простим користувачем, то робота із системою розпочинається із авторизації, копія вікна якої представлена на рисунку 5.26.

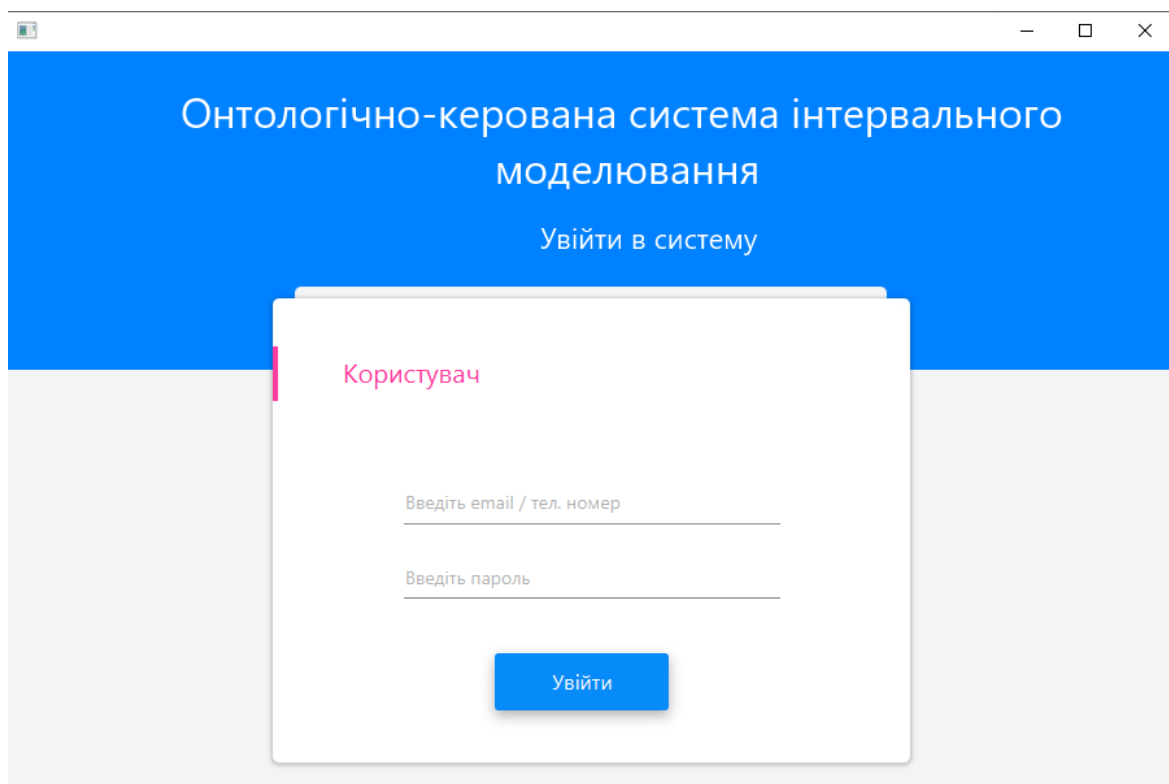


Рисунок 5.26 – Копія вікна авторизації

Після успішної авторизації, користувач попадає на головну сторінку системи (рисунок 5.27). Наявність відповідних функціональних можливостей залежить від групи конкретного авторизованого користувача.

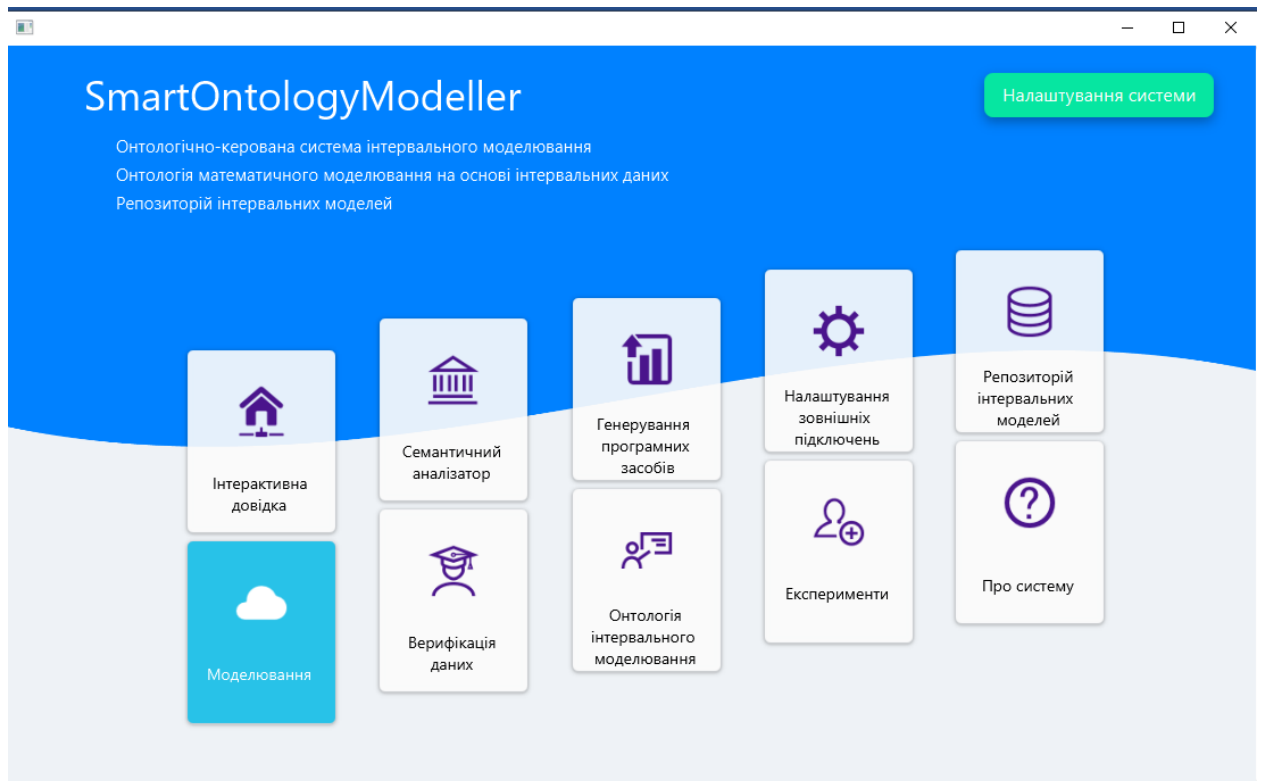


Рисунок 5.27 – Головне вікно програмного комплексу

Як видно із рисунка 5.27, то у користувача, який належить до групи дослідників є можливість скористатися наступними функціональними можливостями, перейти до яких можна при натисненні відповідної іконки, а саме:

«Моделювання» (рисунок 5.28) – можливість вибору структурної чи параметричної ідентифікації, вибір методу ідентифікації при параметричній ідентифікації, моделювання структури при структурній ідентифікації. При формуванні структури моделі у користувача є можливість скористатися репозиторієм інтервальних моделей та переглянути їх формалізоване представлення в онтологічній підсистемі і в подальшому використати цю інформацію для побудови нових моделей.

На основі накопиченої бази експериментальних даних в системі реалізовано можливість здійснити процедуру інтервального моделювання за заданими параметрами, яку програмно реалізовано за допомогою Python інтерпретатора Jython.

В даному середовищі є можливість використовувати як готові програмні бібліотеки, так і генерувати власні з подальшим використанням при генерації інших спеціалізованих інструментальних засобів.

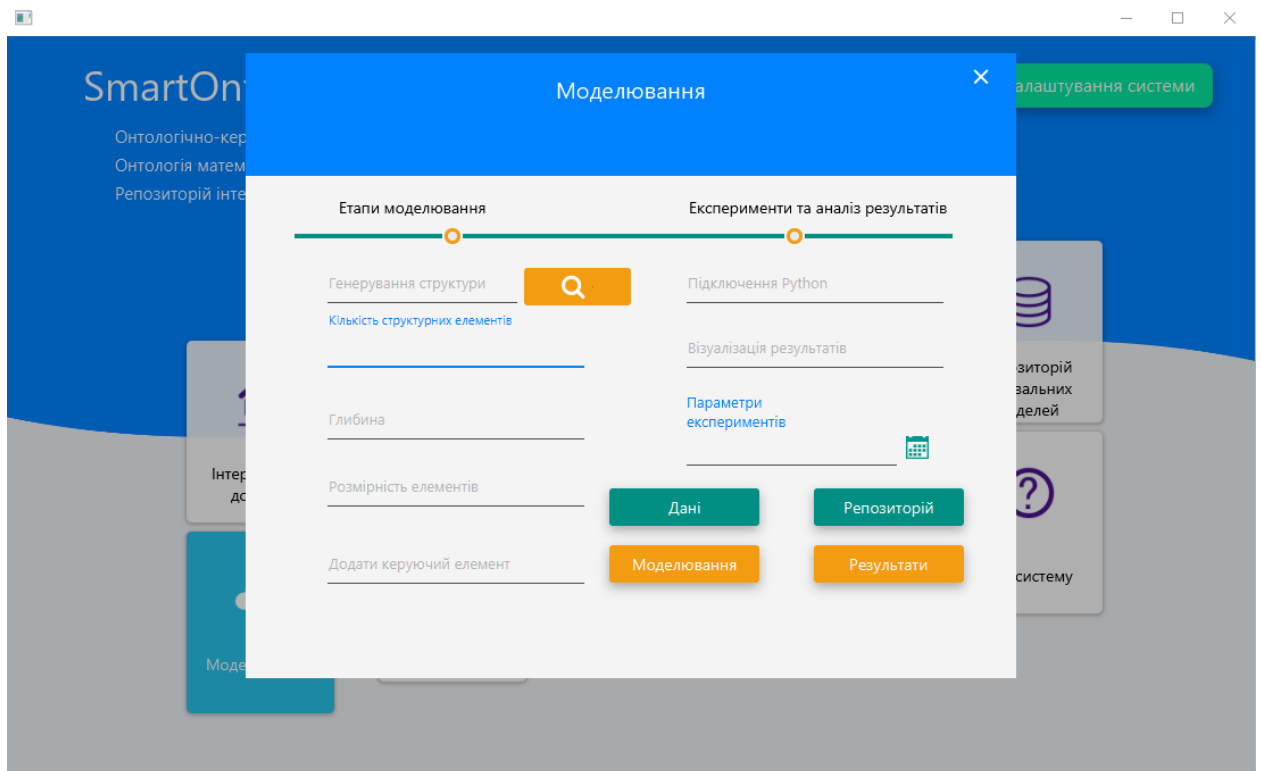


Рисунок 5.28 – Налаштування процедури моделювання інтервального різницевого оператора

«Верифікація даних» - у користувача є можливість здійснити процедуру оцінки достовірності інформації, яка аналізується в процесі забезпечення повноти структури моделі та формалізованого опису об'єкта моделювання. В основу даного сервісу покладено програмно реалізовані методи, які детально описані в четвертому розділі даної дисертаційного дослідження.

«Онтологія інтервального моделювання» - у користувача є можливість переглянути онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу, уточнити онтологічний опис, переглянути онтологічний опис предметної області з використанням візуального графового представлення, фрагмент якого представлено на рисунку 5.29.

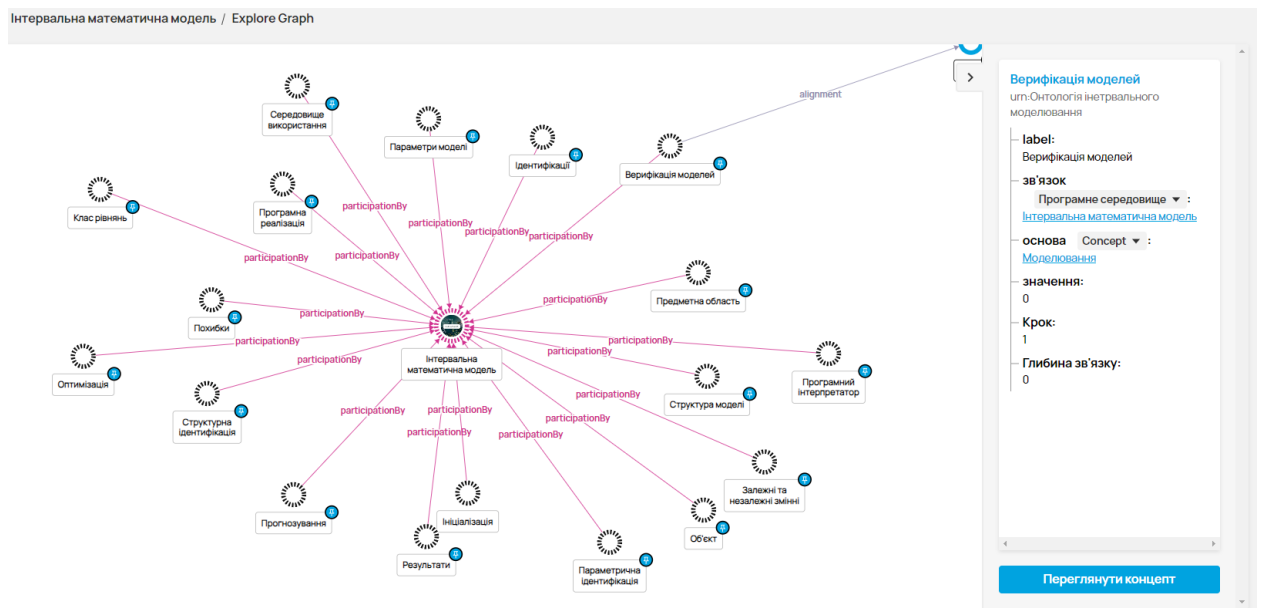


Рисунок 5.29 – Представлення фрагмента онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу у формі онтологічного графа

«Семантичний аналізатор» використовується для накопичення та аналізу даних, які використовуються при побудові інтервальних математичних моделей, їх онтологічного опису та проведення відповідних експериментальних досліджень. Семантичний аналізатор використовується також в підсистемі «Генерування програмних засобів» в якості інструментарію для контролю та верифікації програмної інтерпретації онтологічних описів та відповідних методів маніпулювання даними.

«Генерування програмних засобів» - користувач може згенерувати інструментальний засіб для математичного моделювання в межах вибраної предметної області, заповнивши для цього відповідну форму.

Генерування інструментального засобу здійснюється автоматично на основі програмної інтерпретації семантично-узгоджених онтологічних описів та комбінування відповідних операцій.

Приклад формування запиту на створення інструментального засобу та відповідний результат генерування представлено на рисунку 5.30. Згенерований інструментальний засіб функціонує як окремий, програмно-незалежний від головної системи сервіс і може використовуватися спеціалістами в обраній прикладній предметній області, які одночасно не є фахівцями в галузі математичного моделювання на основі інтервального підходу.

Ця функція є досить зручною з практичної точки зору, оскільки також дозволяє залучати спеціалізованих фахівців до тестування згенерованих засобів.

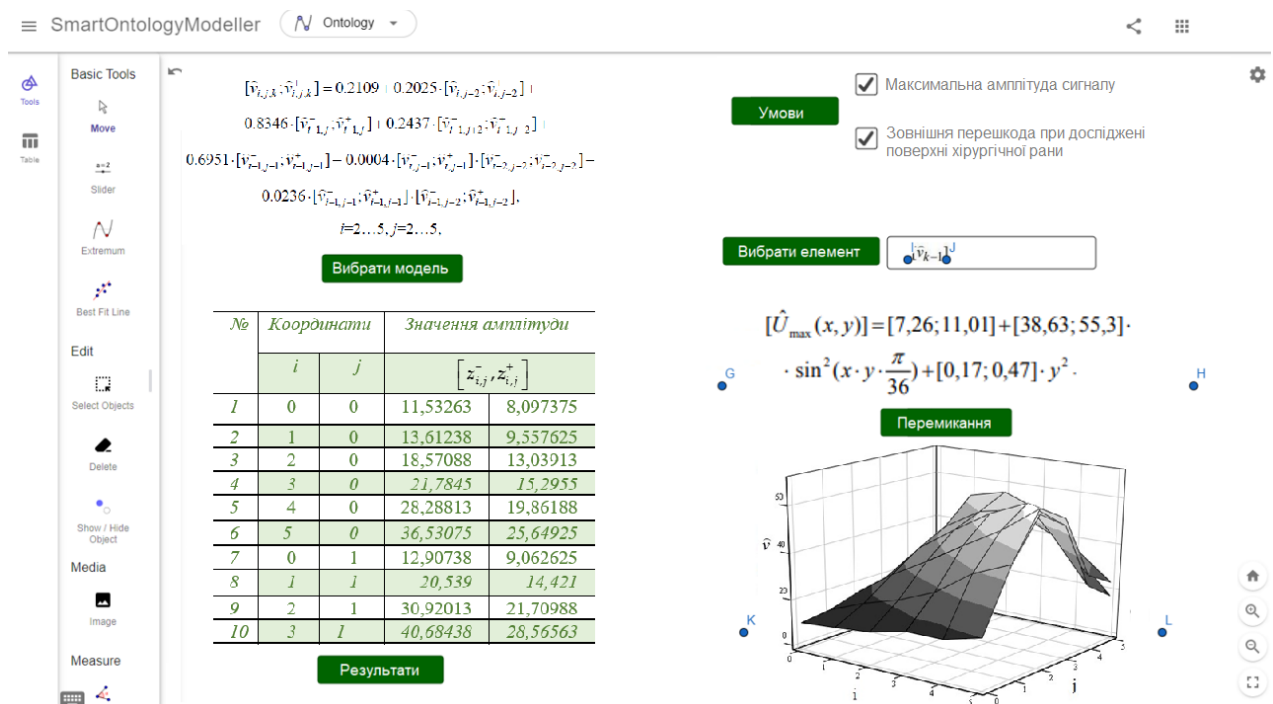


Рисунок 5.30 – Приклад генерації інструментального засобу для моделювання розподілу максимальної амплітуди інформаційних сигналів

«Репозиторій інтервальних моделей» (рисунок 5.31) - дозволяє переглянути базу побудованих інтервальних математичних моделей, на основі

вказаних семантичних фільтрів, у користувача є можливість вибрати модель і в подальшому її використати як для проведення експериментальних досліджень, так і в якості основи для генерування відповідних інструментальних засобів для математичного моделювання складних об'єктів різноманітного призначення.

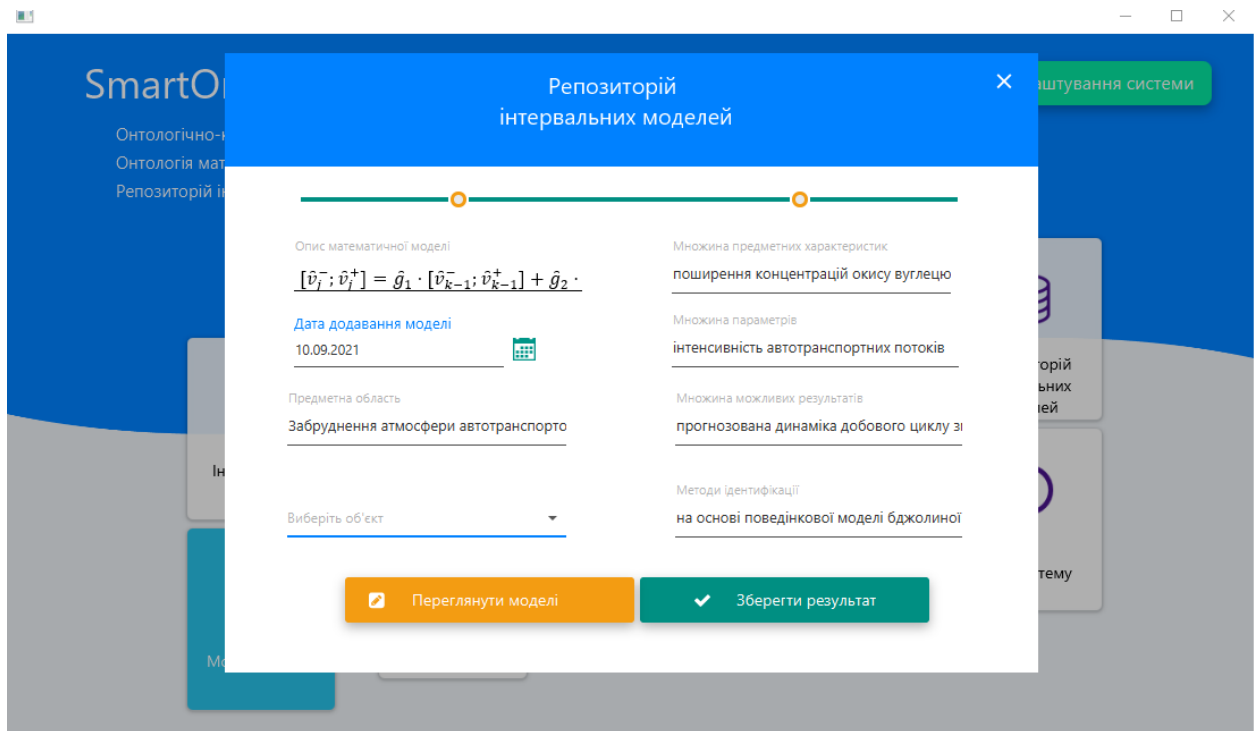


Рисунок 5.31 – Репозиторій інтервальних моделей

«Налаштування зовнішніх підключень» (рисунок 5.32) - у користувача є можливість підключитися до зовнішніх систем, зокрема, до систем автоматизації математичних розрахунків, систем моделювання, систем, дані з яких можуть використовуватися для накопичення бази даних експериментальних досліджень.

У даній підсистемі також є можливість підключити зовнішні програмні інтерпретатори формалізованих математичних описів, які використовують різноманітні технології програмування та взаємодіють з різними базами даних, включаючи також протоколи обміну даними (MatLab, Python math Module, Math.NET Numerics).

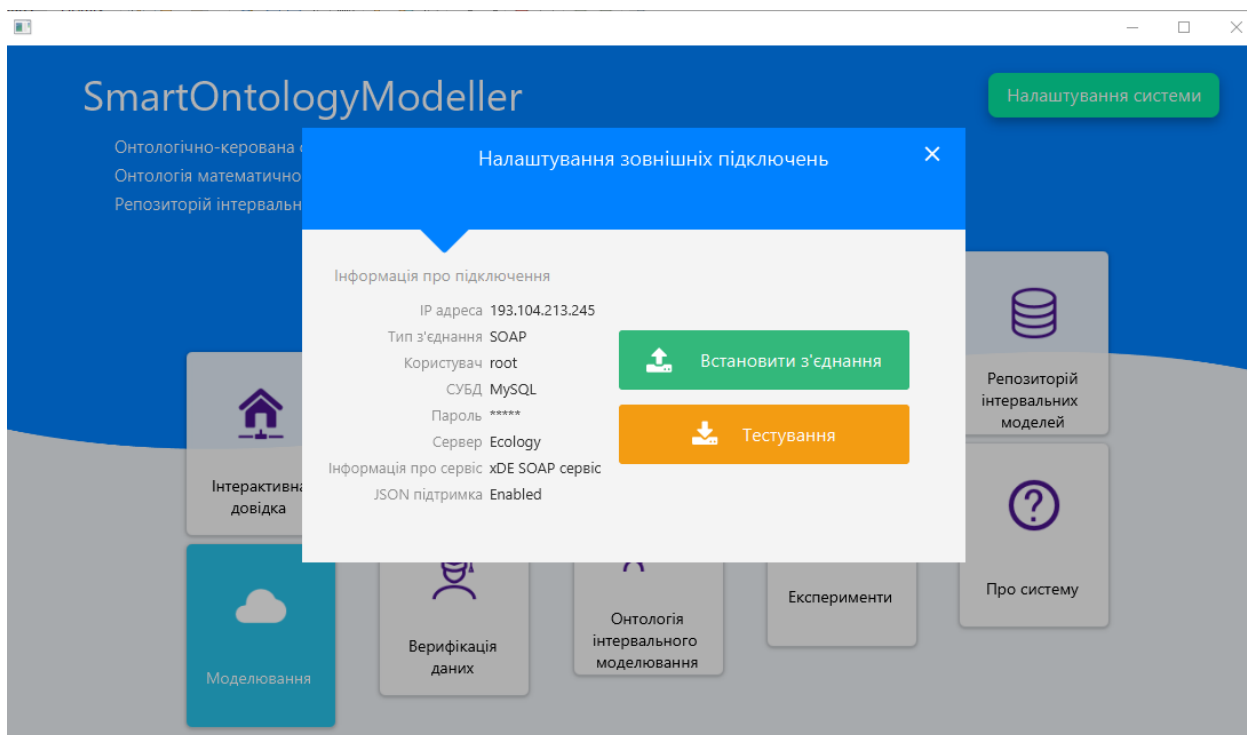


Рисунок 5.32 – Налаштування зовнішніх підключень

«Експерименти» - у користувача є можливість накопичувати власну базу експериментальних досліджень, поповнювати її із зовнішніх інформаційних систем та використовувати в процесі побудови математичних моделей.

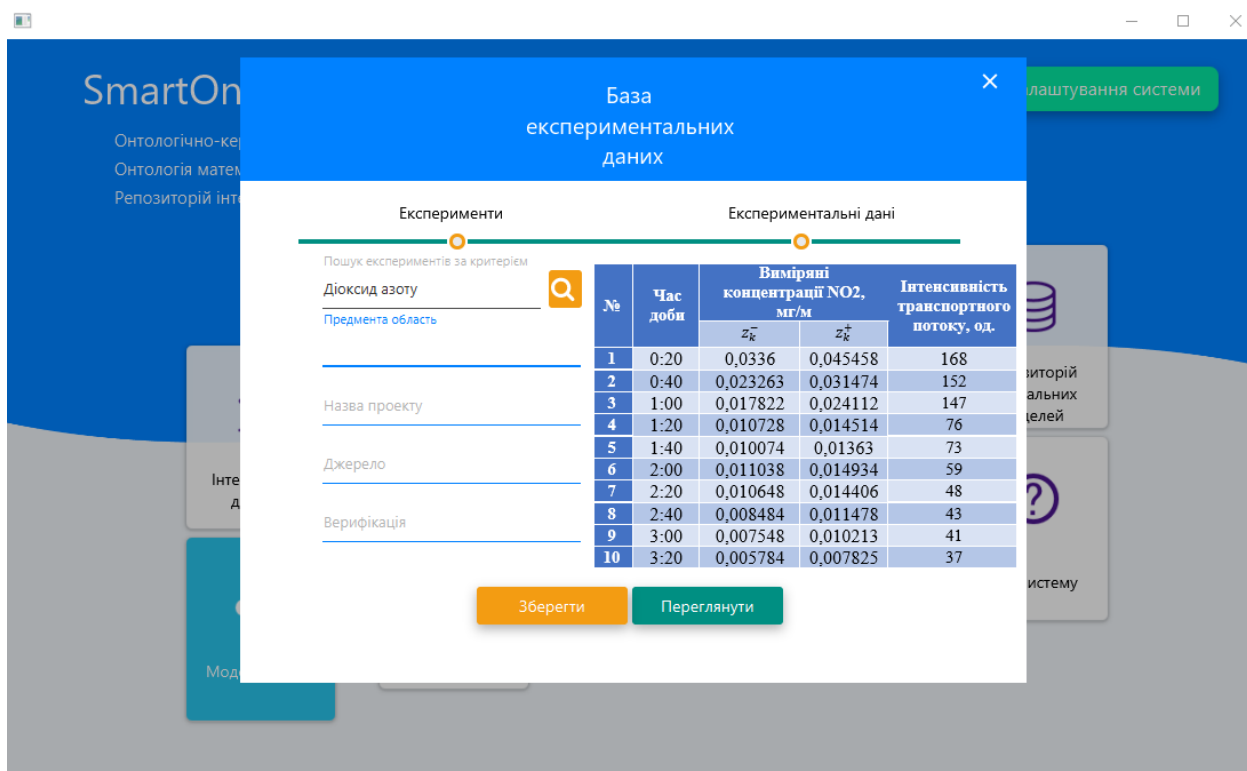


Рисунок 5.33 – База експериментальних даних

«Інтерактивна довідка» - використовується користувачами для отримання інформації про особливості використання програмного комплексу для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу.

Інтерактивна довідка також включає детальні інструкції з прикладами побудови інтервальних математичних моделей та є обов'язковим інтегрованим модулем в процесі генерації спеціалізованих інструментальних засобів. На рисунку 5.34 представлено копію вікна із можливість перегляду інформації з інтерактивної довідки.

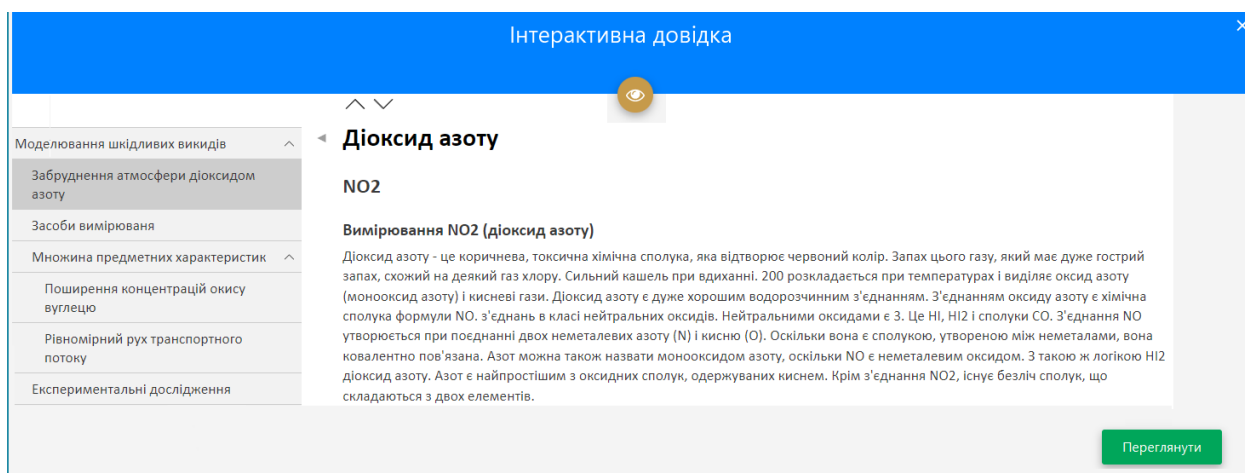


Рисунок 5.34 – Копія вікна «Інтерактивна довідка»

«Про систему» (рисунок 5.35) - є можливість переглянути інформацію про поточну версію системи, відомості про розробників, та можливість здійснити процедуру перевірки на наявність оновлень.

Таким чином представлено особливості побудови архітектури програмного забезпечення для математичного моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу. Описано технологію створення програмного забезпечення на основі розробленої онтологічної надбудови для математичного моделювання з використанням інтервальних даних для різних об'єктів, а також різних форм реалізації інтерфейсу користувача.

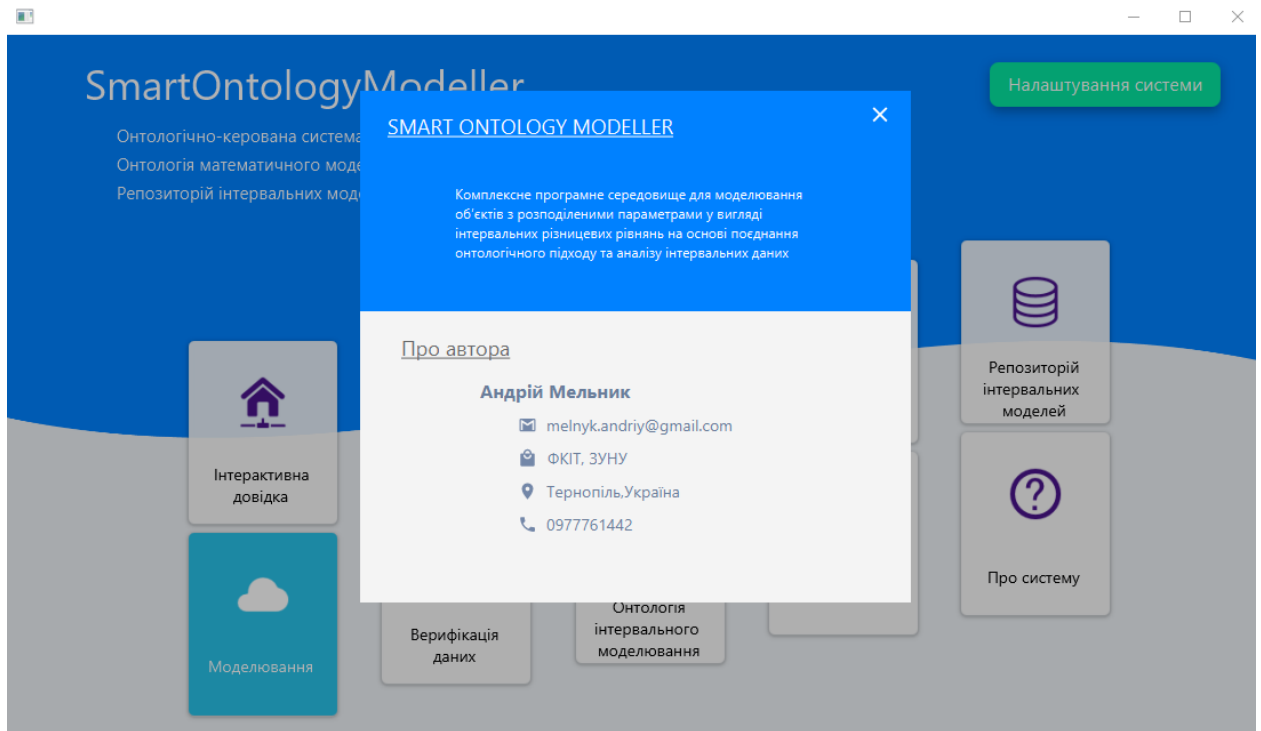


Рисунок 5.35 – Копія вікна «Про систему»

5.4. Онтологія як програмна надбудова до системи для математичного моделювання на основі інтервальних даних

Математичне моделювання є одним з основних інструментів, що дозволяє описати об'єкт у простій формі, досліджувати його та прогнозувати поведінку. Математичне моделювання розуміється як процес побудови моделі та її застосування до певних прикладних задач [224, 230, 231, 250]. Процеси математичного моделювання складаються з великої кількості процедур, які переважно реалізовані у відповідних інструментах, тобто у вигляді певних програмних систем [231].

Прикладами таких програмних середовищ є Matlab, GNU Octave, Scilab, SageMath. Ці інструменти є багатофункціональними і добре розробленими. Однак практикам часто потрібно використовувати більш спеціалізовані інструменти для побудови математичних моделей, а також адаптувати існуючі інструменти до нестандартних умов, які відсутні у зазначених середовищах використання.

У цьому випадку виникають труднощі у використанні та інтерпретації таких інструментів, оскільки процедури моделювання приховані від дослідника, а це ускладнює їх використання шляхом внесення відповідних програмних змін [231, 250].

У цьому випадку найбільш доцільним рішенням є створення онтологічного опису окремих методів математичного моделювання. У ньому детально описані компоненти процесу побудови моделі та її застосування. Потім цей онтологічний опис використовується для створення відповідного програмного забезпечення. Такий підхід, з одного боку, дозволить інтегрувати створене програмне забезпечення в різні прикладні системи, а з іншого – вносити зміни в існуюче програмне забезпечення [11, 50, 75, 133, 176, 203, 250].

Наявність онтологічних описів процесів моделювання на основі певних методів дає змогу уніфікувати програмне забезпечення для вирішення широкого кола завдань. Це дає можливість, на основі досвіду, створити репозиторій математичних моделей, які можна використовувати для моделювання широкого спектру математично подібних властивостей [49, 250].

Позитивним ефектом такого підходу буде значне спрощення процесу створення інструментів як для організації процесів моделювання, так і їх застосування до прикладних завдань. Потреба в автоматизованих, систематичних і багаторазових математичних моделях як середовища для отримання, накопичення та повторного використання знань цілком виправдана в контексті великої кількості інформації про знання, які формуються, зберігаються та постійно накопичуються.

На основі загального визначеного опису процесу моделювання на основі інтервального аналізу реалізовано онтологічну модель, яку детально описано у третьому розділі даного дисертаційного дослідження, а особливості реалізації якої представлено у вигляді відповідної схеми (рисунок 5.1).

Загальне представлення онтології включає класичних два типи основних об'єктів:

- 1) представлення, які описують основні сутності;
- 2) представлення, які описують відношення між цими сутностями.

Загалом, немає обмежень для визначення відношень між сутностями в онтології. Відношення можуть мати визначену множину значень або бути нескінченними залежно від ситуації. Різні відношення використовуються для з'єднання загального опису при створенні конкретної онтологічної моделі. На рисунку 5.36 показано основні поняття онтологічної моделі, яка використовується для опису математичного моделювання на основі інтервального підходу.

Конкретні елементи онтології, зв'язок між якими описано за допомогою відповідних стрілок (властивості об'єкта онтології) між класами домену (верхня стрілка) і класами відповідного діапазону (кінець стрілки), де назва на конкретному рядку зображує тип відношення. Сутності будуть змодельовані як «об'єкти» у відповідних прямокутних. Властивість «is-a» пов'язує поняття з його екземплярами (фізичними інтерпретаціями).

У запропонованому онтологічному представленні клас «Модель» – це основний концептуальний клас, а «Опис», «Функція», «Процес», «Математична інтерпретація», «Репозиторій», «Завдання», «Сервіс», «Механізм», «Обмеження», «Об'єкт», «Протокол», «Дані» – це підкласи класу «Модель». Підкласи класу «Модель» були виокремлені в онтологічному представленні, щоб зробити онтологію простою і зрозумілою як для окремих дослідників, так і для розробників програмних систем.

На рисунку 5.36 представлено схему використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів.

Онтологія предметної області — це онтологія, яка фіксує поняття, відношення та властивості про предметну область. Визначена онтологічна модель буде використана для представлення основних концептів

математичного моделювання на основі інтервального аналізу в процесі реалізації програмного інструментарію.

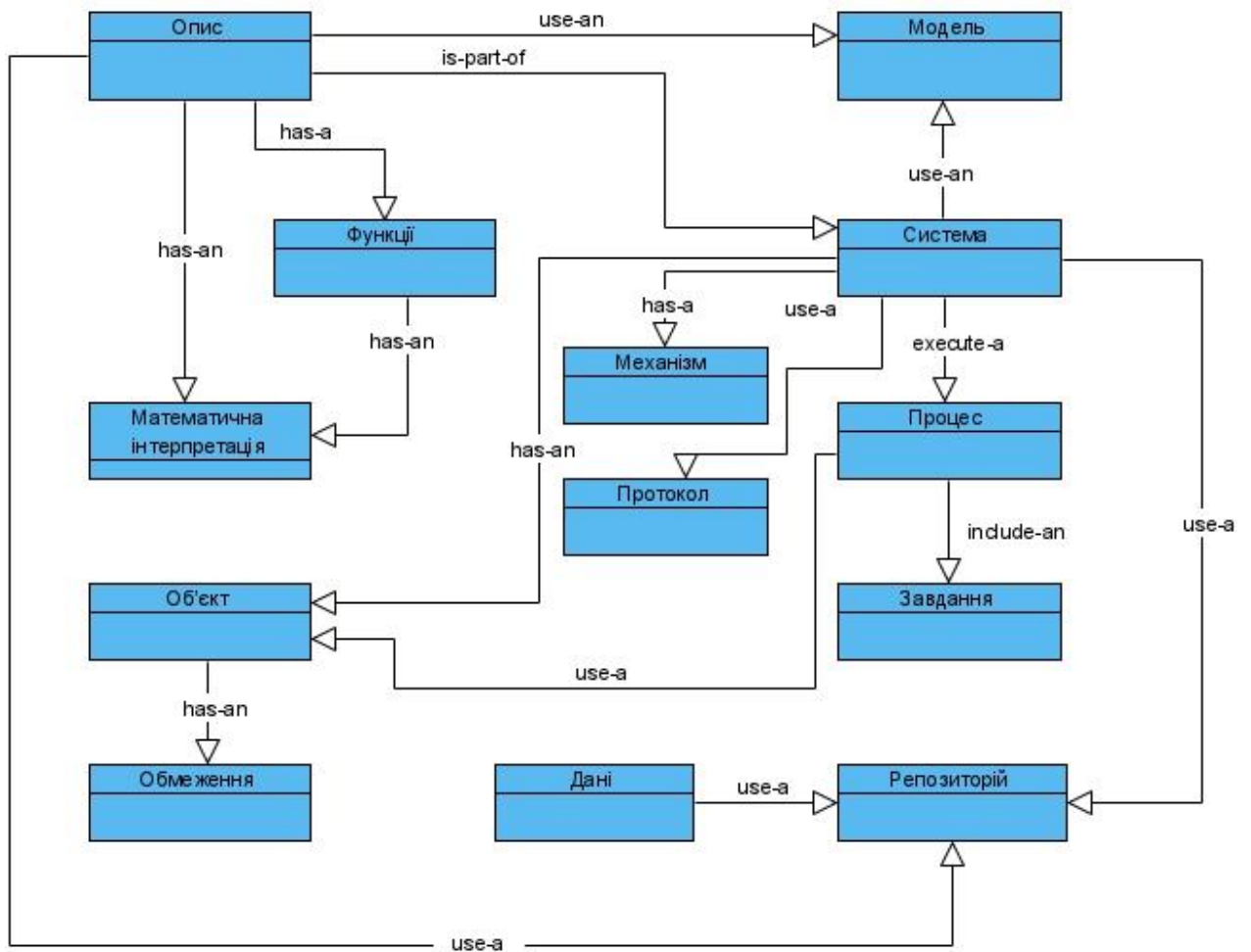


Рисунок 5.36 – Загальна схема використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів

Онтологія надає інформацію для розробників програмного забезпечення та архітекторів для полегшення процесу створення екземплярів архітектури програмної системи.

Вона описує також компоненти програмної архітектури, які допомагають розробникам програмного забезпечення та архітекторам знайти необхідні компоненти архітектури шляхом відстеження зв'язків між

елементами онтології та особливостями їх відповідної інтерпретації в конкретній системі.

5.4.1. Підхід до використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів

Онтологія представляє компоненти, відношення та обмеження для конкретної предметної області. Це являє собою концептуальну модель в організованому і структурному представленні. Це допоможе проектувальникам та розробникам програмного забезпечення відстежувати взаємозв'язки між цими компонентами.

На рисунку 5.37 представлено основні етапи процесу розробки програмної системи математичного моделювання з використання онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу.

Процес розробки онтокереної системи включає наступні кроки:

1) Визначення основних концептів предметної області. Першим кроком у процесі розробки програмного забезпечення з використанням конкретної онтологічної моделі для конкретної предметної області. Існують різні методи, які використовуються для отримання знань з джерел. Ці методи поділяються на три типи: ручні, такі як [203, 250], напівавтоматичні, такі як [176, 203] та автоматичні, такі як [120]. Результатом цього кроку є набір основних понять, які використовуються для опису математичного моделювання на основі інтервальних даних.

2) Визначення понять, які використовуються для опису компонентів предметної області.

3) Визначення екземплярів вилучених понять.

4) Визначення зв'язків між поняттями.

5) Визначення атрибутів понять.

6) Визначення обмежень, які описують умови та обґрунтування.

7) Конструкція системи математичного моделювання на основі інтервальних даних з використанням напрацьованої онтологічної моделі.

На останньому кроці детально пояснюється процес побудови системи. Така система є результатом поєднання загальної онтологічної моделі та описів досліджуваної предметної області, які використовуються для опису системи в цілому.

Системний архітектор, який проектує архітектуру, відіграє значну роль у визначенні основних складових. Системний аналітик предметної області має знання та досвід, які використовуються в процесі розробки системи. Однак ці знання та досвід не задокументовані в архітектурі, а вбудовані в її загальну концепцію.

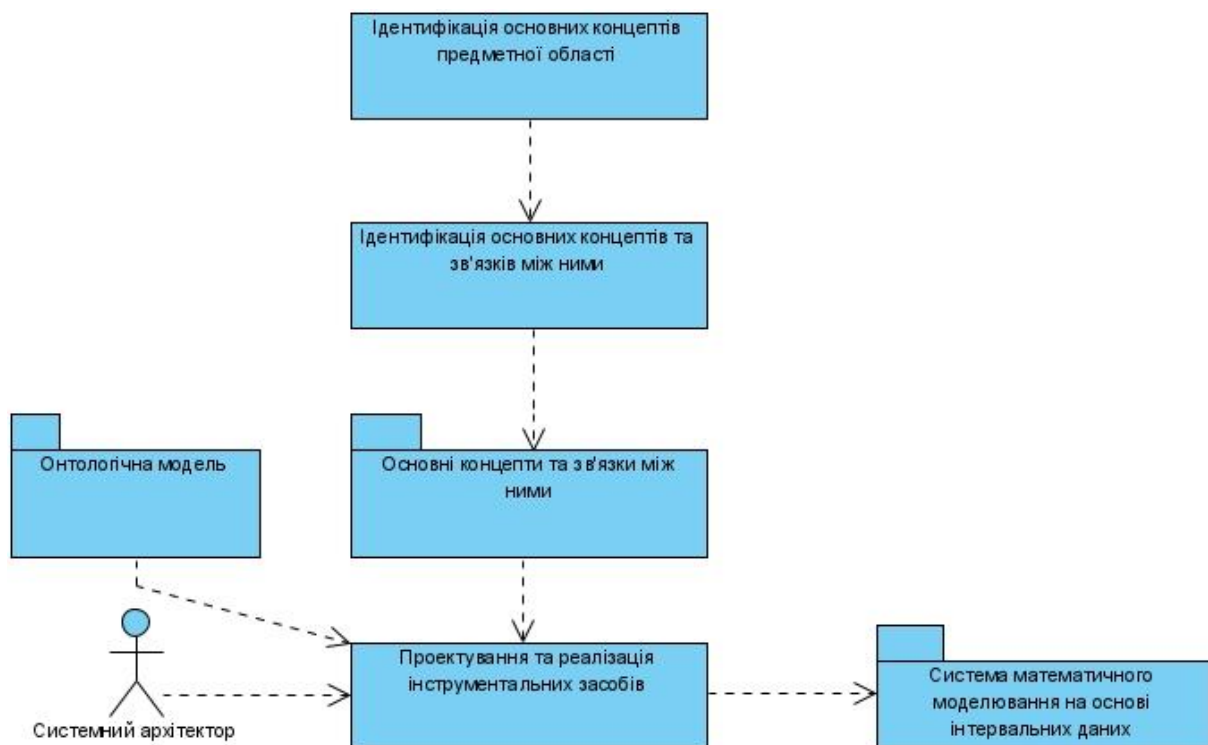


Рисунок 5.38 – Основні етапи процесу розробки програмної системи математичного моделювання з використання онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу

Основна мета онтологічного представлення, як надбудови до програмної системи для моделювання на основі інтервального аналізу представляє собою

набір множин, які використовуються для опису компонентів, зв'язків і обмежень в рамках досліджуваної предметної області в організованій і структурований спосіб. Таке представлення також формує визначений набір понять та їх описових представлень для архітекторів і розробників програмного забезпечення. Онтологічні представлення допомагають архітекторам і розробникам програмного забезпечення, щоб знайти концепції, відстежуючи взаємозв'язки між ними.

Онтологія математичного моделювання на основі інтервальних даних спрямована на полегшення процесу створення екземплярів архітектури програмної системи з онтокерованою взаємодією. На рисунку 5.39 представлено схему процесу використання розглянутої онтологічної моделі та її оновлення. Розглянемо детальніше кроки, які описують процес використання онтології.

Крок 1: Визначення користувача системи. Це перший крок, який формується виходячи із визначення вимог до розроблюваної системи.

Крок 2: Визначення вимог до системи від користувачів.

Крок 3: Визначення можливої концепції та зв'язку між ними з вимог системи.

Крок 4: Порівняння вилучених понять з основними концепціями онтології.

Якщо концепції онтології відповідають визначеним поняттям, то визначаємо інші концепції, простеживши взаємозв'язки ідентифікованих понять. Для перевірки узгодженості між основними та суміжними поняттями використовується техніка онтологічного міркування [75, 210].

В. Якщо концепції онтології не перекривають досліджувану предметну область, то виконуємо наступну послідовність кроків:

- визначаємо нове поняття;
- визначаємо екземпляри нового поняття, які будуть представлені як індивіди в онтології;

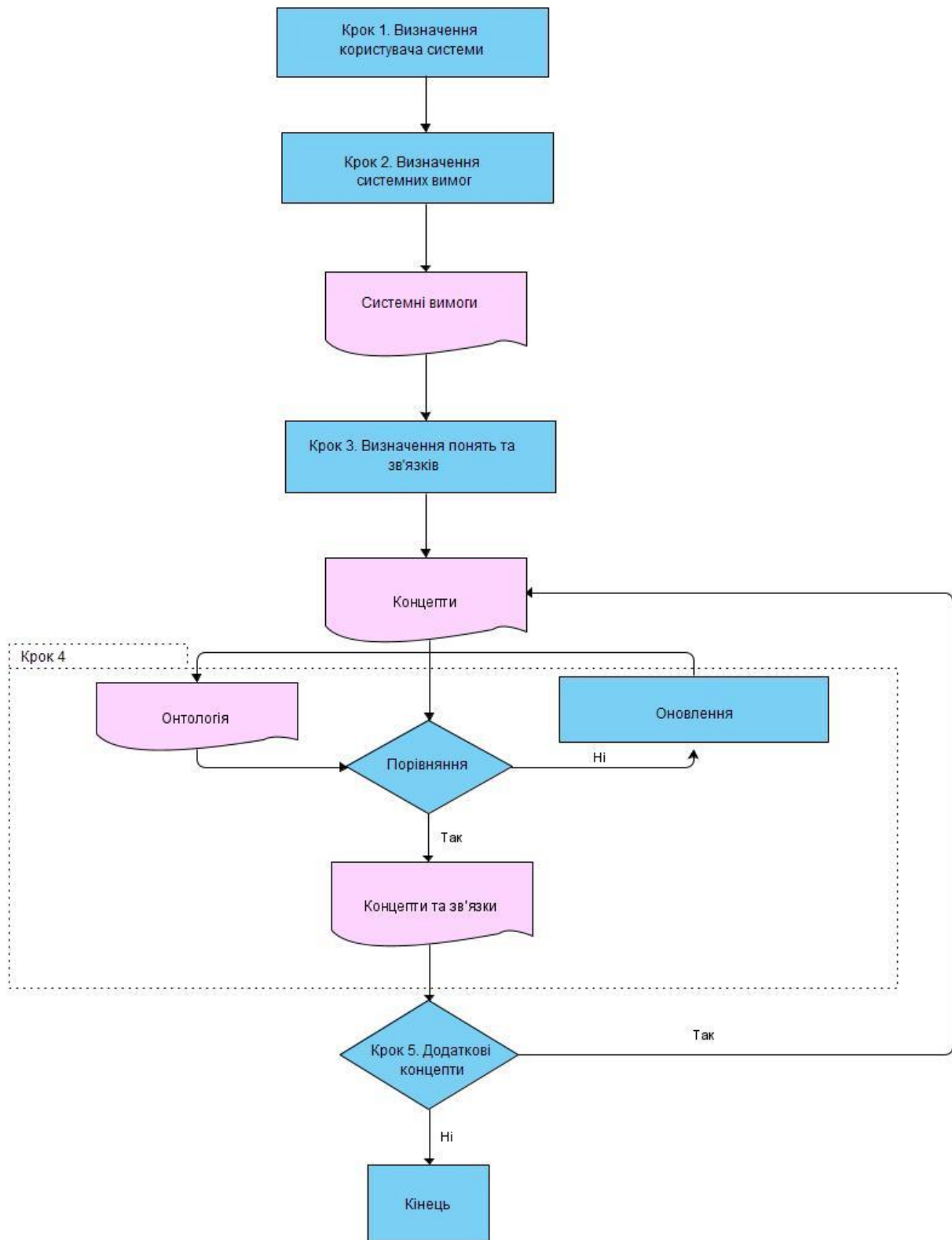


Рисунок 5.39 – Загальна схема використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних та її оновлення

- визначаємо атрибути нових понять, які будуть представлені як властивості даних в онтології;

- визначаємо обмеження для нових понять;
- оновлюємо загальну онтологічну модель, додавши нові концепції до існуючої з її атрибутами, екземплярами, зв'язками та обмеженнями. Розробник онтології оновлює її, додавши нові концепції та визначивши відношення між ними.

Крок 5: Повторюємо крок 4 до того моменту, поки не розглянемо всі поняття, включаючи їх опис та відповідні зв'язки.

5.4.2. Дослідження процесу імплементації онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу в прикладній предметній області

Розглянемо приклад, який ілюструє процес імплементації онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу для моделювання динаміки концентрацій шкідливих викидів оксиду вуглецю на певній території міста та існуючого сховища подібних моделей, схему застосування методу вибору математичної моделі для моделювання на основі інтервальних даних і те, як онтологія надає опис основних понять досліджуваної предметної області розробникам системи.

Запропонований процес використання онтологічної моделі був апробований для проектування та реалізації веб-орієнтованої програмної системи для моделювання шкідливих викидів, скріншот якої візуально представлено на рисунку 5.40. Дослідник проаналізував предметну область, переглянувши її, щоб виділити основні концепти та зв'язки між ними. Розглянемо цей процес детальніше.

Система включає вісім основних підсистем, кожна з яких має різні функції. Такими підсистемами є інтерфейс користувача, механізм моделювання, механізм візуалізації, збереження даних, мережа, інтерпретатор математичних команд, семантичний аналізатор і репозиторій математичних моделей.

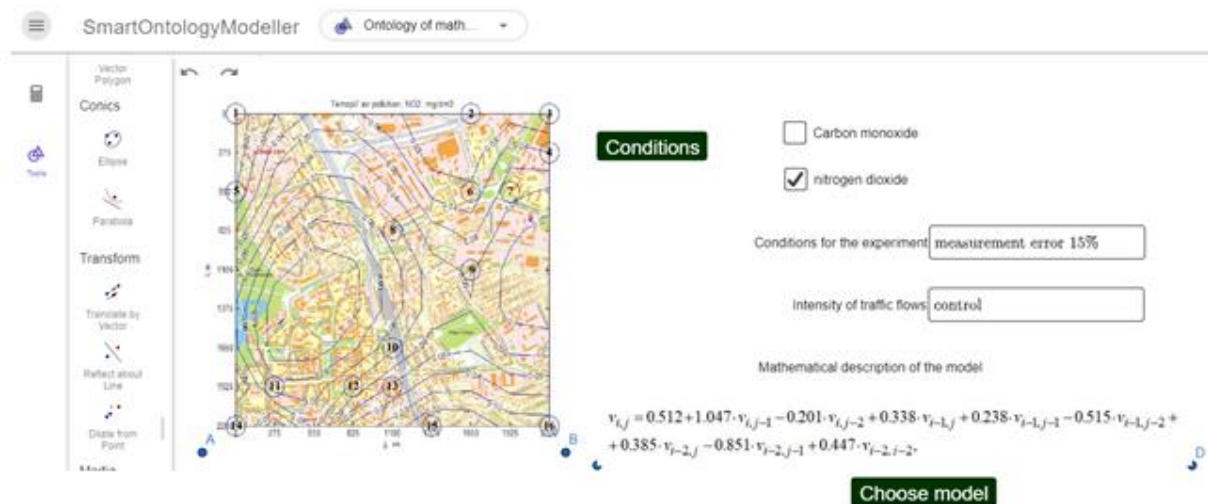


Рисунок 5.40 – Система для моделювання шкідливих викидів оксиду вуглецю на певній території міста

Рисунок 5.41 ілюструє систему для моделювання шкідливих викидів оксиду вуглецю на певній території міста.

Підсистеми використовують різні ресурси:

- Користувачі запускають систему на різному обладнанні, такому як комп'ютери та мобільні пристрої.
- Користувачі використовують різні протоколи передачі даних для доступу до системи моделювання на основі інтервального аналізу.
- Для представлення архітектури системи використовується багатоплановий архітектурний стиль.
- Система використовує інтерпретатор математичних команд та семантичний аналізатор для вибору математичних моделей з відповідного репозиторію.

Зв'язок між підсистемами:

А. Підсистема інтерфейсу користувача підключається до підсистеми з репозиторієм математичних моделей, підсистеми моделювання, і підсистеми збереження та візуалізації даних.

В. Підсистема з інтерпретатором математичних команд підключається до репозиторію математичних моделей, механізму моделювання та візуалізації даних.

С. Підсистема семантичний аналізатор підключається до мережі та репозиторію математичних моделей і підсистеми візуалізації результатів отриманих в процесів математичного моделювання у формі відповідних графіків, таблиць та діаграм.

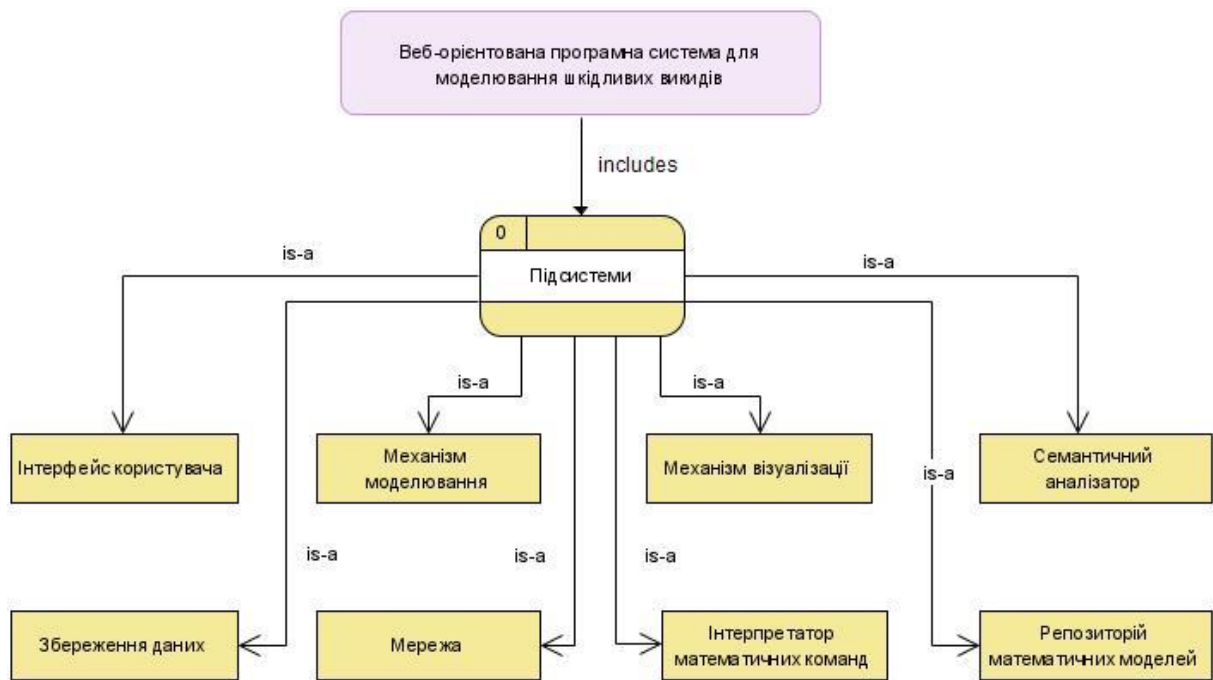


Рисунок 5.41 – Архітектура програмної системи для моделювання шкідливих викидів оксиду вуглецю на певній території міста

Розглянемо детальніше функції підсистем системи для моделювання шкідливих викидів оксиду вуглецю на певній території міста:

А. Функціями підсистеми «Інтерфейс користувача» (рисунок 5.42) є:

1 - Підключення користувача до підсистеми математичного моделювання.

2 - Надає такі функції, як панель інструментів для вибору та налаштування математичних моделей, візуальний прогрес моделювання, візуалізація результатів моделювання, опрацювання та завантаження даних для експериментальних досліджень, налаштування та друк.

В. Функціями підсистеми «Механізм моделювання» є:

1- Забезпечення інтерфейсу високого рівня до підсистеми механізму

моделювання.

- 2- Завантаження репозиторію з математичними моделями.
- 3- Підтримка процесу налаштування параметрів моделі.
- 4- Забезпечення перемикачів для перегляду сеансу моделювання.

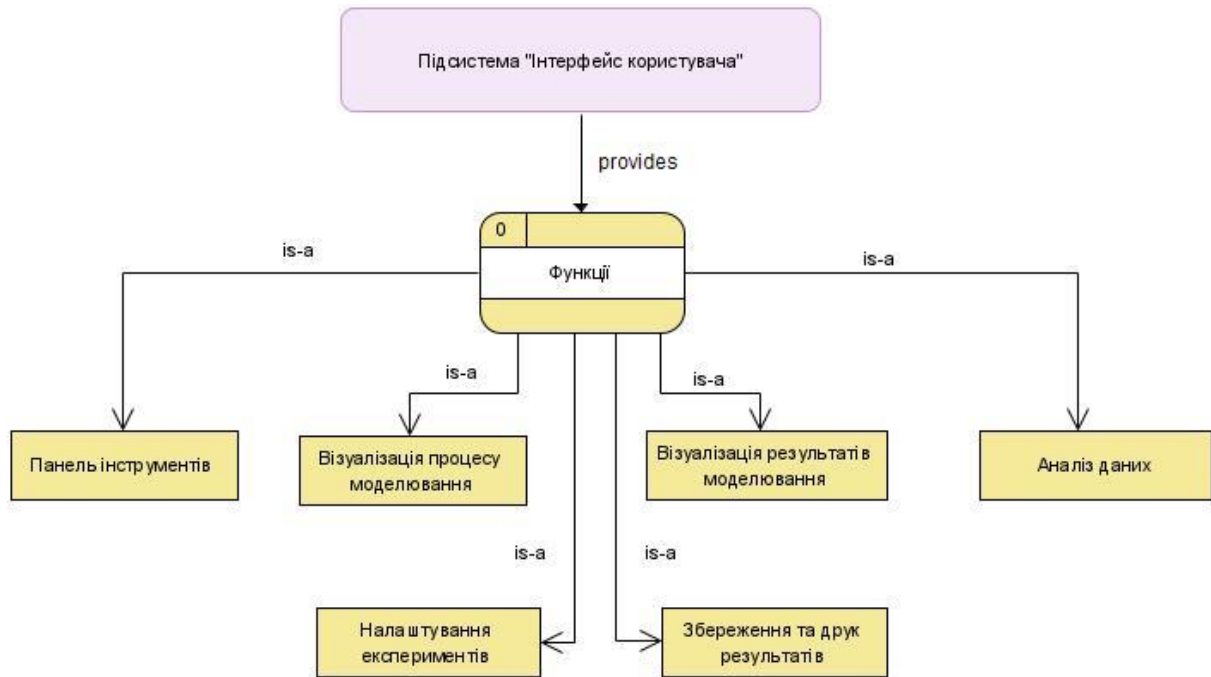


Рисунок 5.42 – Особливості підсистеми інтерфейсу користувача

5- Реалізація запитів та маніпуляції з налаштуваннями механізму моделювання.

C. Функціями підсистеми «Механізм візуалізації»:

1- Створення візуального представлення вибору параметрів візуалізації процесу та відображення результатів моделювання.

2- Відображення різноформатних файлів для збереження результатів моделювання.

3- Розрахунок точного макету результатів моделювання.

D. Функціями підсистеми «Мережі» є:

1- Реалізація протоколів передачі файлів, такі як HTTP і FTP.

2- Опрацювання кешу нещодавно отриманих ресурсів.

E. Функція підсистеми «Семантичний аналізатор»:

1 – Інтерпретація семантичних інструкцій в програмні команди відповідного засобу.

Ф. Функція підсистеми «Збереження даних»:

1- Можливість вибору типів файлів для збереження результатів моделювання.

Г. Функціями підсистеми «Репозиторій математичних моделей» є:

1- Семантично-інтерпретоване відображення множини математичних моделей для вибраної предметної області конкретного об'єкту моделювання.

2- Вибір моделей.

3- Інтерпретація моделей в зовнішнє середовище моделювання.

Н. Функція підсистеми «Збереження даних»:

1- Зберігання різних даних, які пов'язані з сеансом математичного моделювання.

Виходячи із наведеного вище аналізу можна отримати онтологічний концептуальний словник системи математичного моделювання на основі інтервальних даних для моделювання шкідливих викидів оксиду вуглецю, фрагмент якого представлений в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Поняття, які описують об'єкти програмної системи моделювання на основі інтервального аналізу

Словник			
Математичне моделювання	Механізм моделювання	Інтерпретатор математичних команд	Репозиторій математичних моделей
Візуалізація результатів моделювання	Мережа	Семантичний аналізатор	Аналізатор даних
Формат даних	Типи файлів	Інтерпретація семантичних інструкцій	Сеанс моделювання
Збереження даних	Параметри моделі	Методи ідентифікації	Об'єкт моделювання

У таблиці 5.2 представлено можливі типи зв'язків між цими об'єктами, що дозволяє встановити відповідні залежності для їх подальшого аналізу та використання.

Таблиця 5.2 – Можливі типи зв'язків між концептами програмної системи моделювання на основі інтервального аналізу

Словник			
Доступ до	Дозволити	Застосувати	Розрахувати
Підключитися до	Показати	Оцінити	Виконати
Має	Реалізує	Включає	Завантажує
Опрацьовує	Виробляє	Надає	Надає функцію для
Представлений як	Зберігає в	Підтримує в	Використовується
Підключений до	Виконати з	Використати з	Зберегти до

Використовуючи дані, які представлені в таблиці 5.1 та 5.2 можна побудувати онтологічний граф залежностей між поняттями для досліджуваної предметної області. Таке використання онтології дозволяє спростити процес використання системи як окремими дослідниками в галузі математичного моделювання, так і розробниками програмного забезпечення, які будуть в подальшому масштабувати та розширювати функціонал програмного комплексу.

Висновки до розділу 5

1. Описано архітектуру програмного комплексу для математичного моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу. За допомогою UML діаграм активностей базових процесів, Use-case діаграми системи, діаграм послідовності, діаграм діяльності, діаграми комунікації, діаграми класів, діаграми компонентів програмного комплексу, діаграма розгортання сформовано основні вимоги до програмного комплексу. Такий

підхід дозволив значно спростити процес розробки та використання напрацьованої бази математичних моделей для дослідження складних об'єктів в різних предметних областях.

2. Описано особливості реалізації програмного комплексу, зокрема використано об'єктно-орієнтований підхід до програмування, з використанням технології Spring framework на мові програмування Java, а також інтерпретатором Python. В якості Python інтерпретатора було обрано Jython, який повністю написаний на Java і добре підходить для реалізації спеціалізованих аплетів.

3. Онтологічний підхід програмно імплементовано до формалізації як самих математичних моделей на основі інтервальних даних, так і формалізації особливостей їх використання. Такий підхід дозволяє спростити процес створення математичної моделі, маніпулювання, повторного використання та апробації у реалізованому програмному середовищі, так і спрощує процес синхронізації у відповідних зовнішніх програмно-інтерпретованих середовищах.

РОЗДІЛ 6.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

У цьому розділі розглядаються особливості застосування розроблених методів, репозиторію інтервальних моделей та програмного комплексу для моделювання характеристик складних об'єктів до розв'язування прикладних задач, а саме: моделювання електрофізіологічних характеристик тканин хірургічної рани в задачах виявлення місцезнаходження зворотного гортанного нерва під час операцій на щитоподібній залозі; для моделювання забруднення атмосфери шкідливими викидами у вихлопних газах автотранспорту; моделювання динаміки реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж.

На початку розділу розглядається процес побудови математичної моделі електрофізіологічних характеристик тканин хірургічної рани в задачах виявлення місцезнаходження зворотного гортанного нерва під час операцій на щитоподібній залозі. На основі онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних, а також реалізованого програмного комплексу для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходів побудовано репозиторій інтервальних математичних моделей для виявлення зворотного гортанного нерва та наведено приклади генерації відповідних інструментальних засобів.

Далі у розділі розглядається моделювання процесів забруднення приземистого шару атмосфери шкідливими викидами нестационарними джерелами забруднення. Проблемою застосування інтервального підходу для даного класу об'єктів є складність використання побудованої інтервальної моделі у випадку інших умов середовища. Вирішення цієї проблеми досягається шляхом реалізації онтології інтервальної математичної моделі для задачі моделювання динаміки концентрації шкідливих речовин в розробленому середовищі.

У кінці даного розділу пропонується інтервальна модель, яка побудована на основі реальних реакцій користувачів на інформаційні повідомлення і дозволяє побудувати їх стійкий портрет з метою побудови оптимального розкладу публікацій спеціалізованої групи для максимізації кількості реакцій на повідомлення з урахуванням обмежень, зумовлених політикою публікацій окремих груп в соціальних мережах.

Досліджено ефективність застосування розроблених методів для розв'язування низки досліджуваних прикладних задач.

Основні результати цього розділу опубліковано автором у працях [41, 43, 46, 48, 50, 55, 57, 59, 196, 197, 225-229, 251, 253, 266].

6.1. Інтервальна модель для візуалізації зворотного гортанного нерва при проведенні операції на щитовидній залозі

Хірургічні втручання на різних органах людини часто вимагають класифікації та розпізнавання типів тканин операційної рани. Найчастіше хірургу доводиться виявляти нервову тканину на тлі м'язової і сполучної, щоб уникнути пошкодження. Пошкодження нервової тканини може бути фатальним для роботи інших органів людини. Однією з таких тканин є зворотний гортанний нерв (ЗГН). Його виявлення та відповідна локалізація проводиться під час операції на шиї або при видаленні пухлини щитовидної залози [39, 44, 51, 57].

Засобом моніторингу процесу даної операції є різноманітні нейромонітори, які відстежують проходження сигналів через ЗГН і у разі зникнення сигналу сигналізують хірурга про наявність ушкодження [57, 59, 159]. Однак такий підхід є неефективним, оскільки констатує факт заподіяння шкоди. Це може бути корисним для медичного страхування, але не зовсім вигідним для пацієнта [57].

Тому важливо не тільки встановити факт проходження сигналу через нервову тканину, а й класифікувати ділянки цієї тканини, змодельовати і

передбачити можливе розташування цієї тканини і таким чином уникнути пошкодження. Такі методи виявлення, засоби виявлення та відповідні інформаційні технології описані в ряді робіт, зокрема в [39, 44, 57, 153, 161].

Однак класифікація тканин певною мірою дає можливість виявити розташування ЗГН, але не допомагає хірургу передбачити відстань від місця операції до нервової тканини. Технологія вирішення даної задачі наведена в [39, 57, 159]. Технологія заснована на математичних моделях, які представляють поверхню операційного місця як об'єкт з розподіленими параметрами. У кожній точці подразнення операційної рани змінним або імпульсним струмом спостерігаються різні електрофізіологічні властивості тканин. Після серії подразників можна ідентифікувати цю модель - як об'єкт з розподіленими параметрами. Тоді така математична модель буде придатна для прогнозування електрофізіологічних властивостей тканин у будь-якій точці операційної рани.

При цьому для кожного подразнення визначають гарантований інтервал інформаційного сигналу - відповіді на подразник. Далі будують інтервальну модель для просторового розподілу характеристик тканини у вигляді різницевого рівняння. Тоді така модель може бути використана для ідентифікації та прогнозування областей, де розташований ЗГН [39, 57, 159].

Слід зазначити, що такі моделі будуються у формі різницевого рівняння. Застосування диференціальних рівнянь у цьому випадку викликає певні труднощі, які пов'язані з труднощами коригування електрофізіологічних властивостей тканин конкретного пацієнта.

Останнім часом технологія визначення локалізації ЗГН під час операції на щитовидній залозі використовує інтервальні різницеві рівняння. Підлаштувати їх під конкретного пацієнта легше, оскільки в процесі операції достатньо вибрати одну з раніше побудованих моделей для оперованих пацієнтів і налаштувати різницеву схему для поточного пацієнта. Для цього хірургу достатньо провести кілька подразнень тканин операційної рани імпульсним струмом силою до 2 мА. Однак і в цьому випадку ситуація

складна. Часто такі моделі є неточними, а відповідно сама технологія стає неефективною.

Попередні спостереження за хворими під час ряду операцій на щитовидній залозі показали, що електрофізіологічні властивості тканин операційної рани хворих значною мірою залежать від патології щитовидної залози. Тому було вирішено удосконалити існуючу технологію за рахунок використання онтологічної моделі, яка містить усі набуті знання про патології пацієнтів, які перенесли операцію з видалення пухлини щитоподібної залози.

Розглянемо особливості побудови наведеної моделі у вигляді інтервального різницевого рівняння. Припустимо, ми провели серію подразнень тканин операційної рани силою струму до 2 мА. Також нехай результати цих стимулів отримали характеристики інформаційного сигналу в інтервальному вигляді [57, 159]. Тоді результати цих подразників представлені наступним чином:

$$[z_{i,j}] = [z_{i,j}^-, z_{i,j}^+], i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J, [z_0(i,j)] \in [z_{i,j}^-; z_{i,j}^+], \quad (6.1)$$

де $[z_0(i,j)]$ – значення сигналу, отриманого після обробки даних реакції на подразнення хірургічної рани $i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J$; $z_{i,j}^-, z_{i,j}^+$ – мінімальне та максимальне значення коридору амплітуди сигналу; $i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J$ – дискретні координати просторового розподілу характеристик тканини операційної рани;

У формулі (6.1) враховуються основні похибки технічних або інших засобів. Модель ідентифікації ЗГН розглядається як дискретне рівняння, тобто різницеве рівняння у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} [\hat{v}_{i+1,j+1}] &= [\hat{v}_{i+1,j+1}^-; \hat{v}_{i+1,j+1}^+] = \\ &= \vec{f}^T([\hat{v}_{0,0}], \dots, [\hat{v}_{0,j}], \dots, [\hat{v}_{i,j}], \dots, [\hat{v}_{i,j}]) \cdot \hat{g}, \quad (6.2) \\ &i = d + 1, \dots, I, j = d + 1, \dots, J, \end{aligned}$$

де \vec{g} – вектор невідомих параметрів дискретного різницевого рівняння; d – порядок різницевого рівняння; $\vec{f}^T(\bullet)$ – вектор спеціальних функцій, можуть бути лінійними, що визначають структуру дискретного рівняння; $\hat{v}_{i,j}$ – прогнозоване значення головної амплітуди в точці із заданими дискретними координатами i, j .

Виходячи з умов (6.1) гарантування точності математичної моделі в межах точності основного експерименту, IPP (6.2) буде налаштовано за вказаним критерієм [57, 159]:

$$[\hat{v}_{i,j}^-; \hat{v}_{i,j}^+] \subset [z_{i,j}^-; z_{i,j}^+], \forall i = 1, \dots, I, \forall j = 1, \dots, J. \quad (6.3)$$

Підставляючи у формулу (6.3) іншу рекурентну формулу (6.2) замість інтервальних оцінок $[\hat{v}_{i,j}^-; \hat{v}_{i,j}^+]$, отримуємо інтервальну систему нелінійних алгебраїчних рівнянь із визначеними значеннями інтервалу:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\hat{v}_{0,0}^-; \hat{v}_{0,0}^+] \subseteq [z_{0,0}^-; z_{0,0}^+]; \\ \vdots \\ [\hat{v}_{d,d}^-; \hat{v}_{d,d}^+] \subseteq [z_{d,d}^-; z_{d,d}^+]; \\ z_{d+1,d+1}^- \leq \vec{f}^T([\hat{v}_{0,0}], \dots, [\hat{v}_{0,j}], \dots, [\hat{v}_{i,0}], \dots \\ \dots, [\hat{v}_{d,d}], \vec{u}_0, \dots, \vec{u}_k) \cdot \hat{g} \leq z_{d+1,d+1}^-; \\ \vdots \\ z_{I,J}^- \leq \vec{f}^T([\hat{v}_{0,0}], \dots, [\hat{v}_{0,j}], \dots, [\hat{v}_{i,0}], \dots \\ \dots, [\hat{v}_{I,J-1}], \vec{u}_0, \dots, \vec{u}_k) \cdot \hat{g} \leq z_{I,J}^-; \\ i = d + 1 \dots I, \quad j = d + 1 \dots J, \quad k = 0 \dots K. \end{array} \right. \quad (6.4)$$

На відміну від лінійного випадку у такій системі представлені нелінійні параметри. Для її ідентифікації використано метод, заснований на моделі поведінки штучної бджолоїної сім'ї [51, 159].

Таким чином, використовуючи параметричну та структурну ідентифікацію отримуємо інтервальну математичну модель, яка описує

розподіл максимальної амплітуди інформаційного сигналу на поверхні операційної рани. Для прикладу візьмемо модель, побудовану в [159]. На рисунку 6.1 наведено частину даних, отриманих при хірургічному втручанням на щитовидній залозі.

Номер	Координата	Координата	Інтервальні значення
	i	j	$[z_{i,j}]$
1	0	0	[0,58 ; 0,92]
2	0	1	[0,45 ; 0,54]
3	0	2	[0,39 ; 0,44]
...
24	4	3	[0,025 ; 0,034]
25	4	4	[0,016 ; 0,025]

Рисунок 6.2 - Фрагмент набору значень амплітуди спектральних компонентів

На останній ітерації реалізації методу отримано таку структуру моделі ідентифікації зворотного гортанного нерва:

$$\begin{aligned}
 [\hat{v}_{i,j}^-; \hat{v}_{i,j}^+] = & -0.0161 + 0.503 \cdot [\hat{v}_{i,j-2}^-; \hat{v}_{i,j-2}^+] \\
 + 0.2145 \cdot [\hat{v}_{i-1,j}^-; \hat{v}_{i-1,j}^+] & + 0.7969 \cdot [\hat{v}_{i,j-1}^-; \hat{v}_{i,j-1}^+] \cdot [\hat{v}_{i,j-1}^-; \hat{v}_{i,j-1}^+] \\
 + 0.6344 \cdot [\hat{v}_{i-1,j-1}^-; \hat{v}_{i-1,j-1}^+] \cdot & \\
 \cdot [\hat{v}_{i,j-1}^-; \hat{v}_{i,j-1}^+] \cdot [\hat{v}_{i,j-1}^-; \hat{v}_{i,j-1}^+], & \\
 i = 1 \dots 4, j = 2 \dots 4, &
 \end{aligned} \quad (6.5)$$

де $[\hat{v}_{i,j}^-; \hat{v}_{i,j}^+] \subset [z_{i,j}^-; z_{i,j}^+] = [z_{i,j} - z_{i,j}0,02; z_{i,j} + z_{i,j}0,02] \cup \{ i = 0, j = 0, \dots, 4 \} \cup \{ i = 0, \dots, 4, j = 0, 1 \}$ – початкові умови.

Як бачимо, щоб налаштувати цю модель під конкретного пацієнта, потрібно встановити 14 точок початкових умов. Це означає, що в процесі операції хірург повинен зробити не менше 14 подразнень тканин операційної рани в певних точках.

Однак, використання репозиторію моделей, які були побудовані для прооперованих пацієнтів, дозволяє використовувати його для наступних пацієнтів, що значно скорочує час операції на підготовчому етапі, коли хірург виявляє ЗГН [44].

На основі онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних, яка детально описана в 3 розділі роботи, а також реалізованого програмного комплексу для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходів побудовано репозиторій інтервальних моделей для виявлення зворотного гортанного нерва.

На рисунку 6.3 представлено приклад реалізації онтології інтервальної математичної моделі для задачі візуалізації зворотного гортанного нерву під час операції на щитовидній залозі в середовищі SmartOntologyModeller.

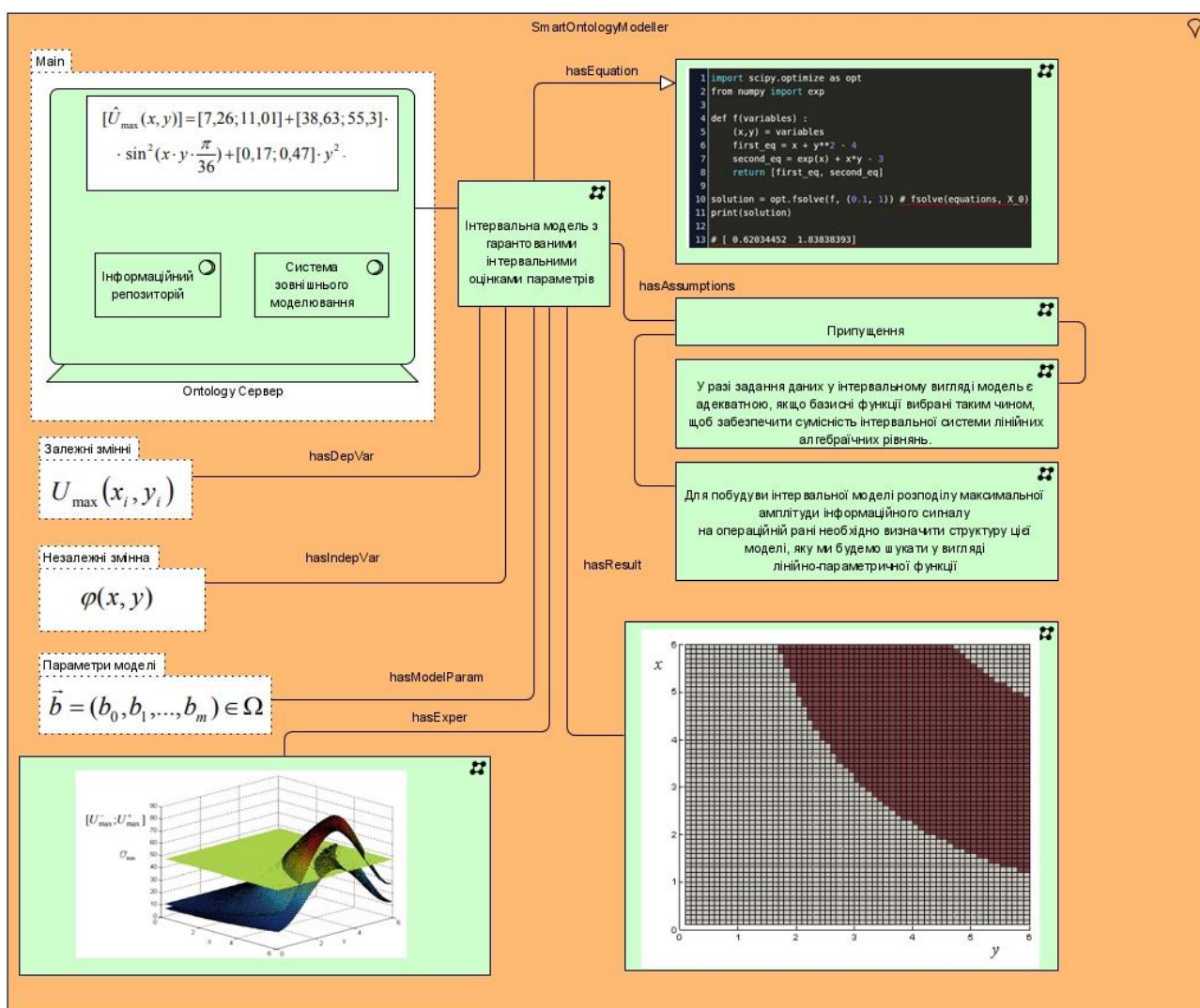


Рисунок 6.3 – Приклад реалізації онтології інтервальної моделі для задачі візуалізації зворотного гортанного нерву в процесі проведення операцій на щитоподібній залозі в середовищі SmartOntologyModeller

Для практичного використання інтервальних моделей із репозиторію було згенеровано відповідний інструментальний засіб, який представлено на рисунку 6.4. Даний інструмент дозволяє перемикати вибором моделі, враховуючи зміни стану середовища, чи умови отримання інтервальних даних.

Необхідно також відзначити, що використання знайденої структури інтервальної моделі для задачі візуалізації зворотного гортанного нерву під час операції на щитоподібній залозі із побудованого раніше репозиторію інтервальних математичних моделей дозволило знизити час на побудову самої моделі, що підтвердило зниження обчислювальної складності при побудові інтервальних математичних моделей для даного класу складних об'єктів.

The screenshot displays the SmartOntologyModeller interface. At the top, there is a navigation bar with the application name, a dropdown menu for 'Інтервальні моделі', and a 'Репозиторій мод...' dropdown. A left sidebar contains a list of actions: 'Очистити вибір моделей', 'Відкрити', 'Зберегти', 'Підключитися до середовища моделювання', 'Експортувати опис моделі', 'Завантажити як', 'Попередній перегляд', 'Вибір моделі', 'Налаштування репозиторію', 'Допомога & Зв'язок', and 'Увійти'. The main workspace is divided into several sections:

- Checkboxes:** 'Максимальна амплітуда сигналу' and 'Зовнішня перешкода при дослідженні поверхні хірургічної рани' are both checked.
- Buttons:** 'Умови' and 'Репозиторій' are green buttons.
- Equation 1:**

$$[\bar{v}_{i,j,k}^-, \bar{v}_{i,j,k}^+] = 0.2109 + 0.2025 \cdot [\bar{v}_{i,j-2}^-, \bar{v}_{i,j-2}^+] + 0.8346 \cdot [\bar{v}_{i-1,j}^-, \bar{v}_{i-1,j}^+] + 0.2437 \cdot [\bar{v}_{i-1,j+2}^-, \bar{v}_{i-1,j+2}^+] + 0.6951 \cdot [\bar{v}_{i-1,j-1}^-, \bar{v}_{i-1,j-1}^+] - 0.0004 \cdot [\bar{v}_{i,j-1}^-, \bar{v}_{i,j-1}^+] \cdot [\bar{v}_{i-2,j-2}^-, \bar{v}_{i-2,j-2}^+] - 0.0236 \cdot [\bar{v}_{i-1,j-1}^-, \bar{v}_{i-1,j-1}^+] \cdot [\bar{v}_{i-1,j-2}^-, \bar{v}_{i-1,j-2}^+],$$

$$i=2\dots5, j=2\dots5,$$
- Equation 2:**

$$[\bar{v}_{i,j}^-, \bar{v}_{i,j}^+] = -0.0161 + 0.503 \cdot [\bar{v}_{i,j-2}^-, \bar{v}_{i,j-2}^+] + 0.2145 \cdot [\bar{v}_{i-1,j}^-, \bar{v}_{i-1,j}^+] + 0.7969 \cdot [\bar{v}_{i,j-1}^-, \bar{v}_{i,j-1}^+] \cdot [\bar{v}_{i,j-1}^-, \bar{v}_{i,j-1}^+] + 0.6344 \cdot [\bar{v}_{i-1,j-1}^-, \bar{v}_{i-1,j-1}^+] \cdot [\bar{v}_{i,j-1}^-, \bar{v}_{i,j-1}^+] \cdot [\bar{v}_{i,j-1}^-, \bar{v}_{i,j-1}^+],$$

$$i=1\dots4, j=2\dots4,$$
- Buttons:** 'Вибрати елемент' is a green button. Below it is a search input field containing 'v_{k-1}^+'. 'Вибрати модель' is a green button below the first equation. 'Перемикання' is a green button below the second equation.
- Visualizations:** Two 3D surface plots are shown. The left plot shows a surface with a peak, labeled with axes U_{max}^-, U_{max}^+ and σ_{max} . The right plot shows a similar surface, labeled with axes \bar{v} and i .
- Navigation:** A vertical toolbar on the right side contains icons for home, search, zoom, and other navigation functions.

Рисунок 6.4 – Приклад перемикання інтервальної моделі для задачі візуалізації зворотного гортанного нерва під час операції на щитоподібній залозі в згенерованому інструментальному засобі

6.2 Інтервальна модель динаміки концентрації шкідливих речовин на основі онтологічного підходу

Для моделювання процесів забруднення приземистого шару атмосфери шкідливими викидами нестационарними джерелами забруднення, наприклад автотранспорту, часто використовують диференціальні рівняння, або ж їх різницеві аналоги. Для структурної ідентифікації різницевих рівнянь використовують метод побудований на основі поведінкових моделей бджолиної колонії [36, 46, 160, 260].

Спочатку зробимо припущення щодо структури математичної моделі та розглянемо математичну модель об'єкта, яка описується наступним різницевим рівнянням [230, 231, 253]:

$$v_k = \vec{f}^T(v_{k-d}, \dots, v_{k-1}, \vec{u}_0, \dots, \vec{u}_{d-1}, \vec{u}_k) \cdot \vec{g}, k = d, \dots, K \quad (6.6)$$

де v_k – модельована концентрація діоксиду азоту на часових дискретах $k = d, \dots, K$; $\vec{u}_0, \vec{u}_1, \dots, \vec{u}_k$ – вектори вхідних змінних, які задають умови побудови та умови застосування моделі; d – порядок дискретної динамічної моделі; \vec{g} – вектор невідомих параметрів моделі; $\vec{f}^T(\bullet)$ – вектор відомих базисних функцій. Виразом (6.6) подано різницеве рівняння, яке є лінійним за параметрами. В загальному випадку, не порушуючи загальності розгляду, припустимо, що дане рівняння може бути нелінійним.

Результати вимірювань концентрацій діоксиду азоту подаємо у вигляді числових інтервалів можливих їх значень у певній точці та у рівномірно зафіксованих часових дискретах:

$$[z_k^-; z_k^+], k = 0, \dots, K, \quad (6.7)$$

де $[z_k^-; z_k^+]$ - визначають нижню та верхню межу інтервалу, які позначають можливі значення вимірних концентрацій, у заданих дискретах часу $k = 0, \dots, K$.

Оскільки точність математичної моделі визначається в рамках точності інтервальних даних, що призводить до наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} [\hat{v}_0^-; \hat{v}_0^+] \subseteq [z_0^-; z_0^+], \dots, \\ \dots [\hat{v}_{d-1}^-; \hat{v}_{d-1}^+] \subseteq [z_{d-1}^-; z_{d-1}^+]; \\ z_k^- \leq \vec{f}^T([\hat{v}_{k-d}], \dots, [\hat{v}_{k-1}], \vec{u}_0, \dots, \\ \dots, \vec{u}_k) \cdot \hat{\vec{g}} \leq z_k^+, k = d, \dots, K. \end{cases} \quad (6.8)$$

де перша стрічка характеризує початкові умови, а наступні стрічки описують умови узгодження між експериментальними та прогнозованими даними, які далі обчислюються на основі математичної моделі, в якій із системи (6.8) обчислюються відповідні параметри. На основі загального представлення моделі складного об'єкта, який описується різницевим рівнянням (6.6), цю математичну модель представляємо разом з оціненими параметрами наступним відношенням:

$$\begin{aligned} [\hat{v}_k] = [\hat{v}_k^-; \hat{v}_k^+] = \vec{f}^T([\hat{v}_{k-d}], \dots, \\ \dots [\hat{v}_{k-1}], \vec{u}_0, \dots, \vec{u}_{d-1}, \vec{u}_k) \cdot \hat{\vec{g}}, k = d, \dots, K., \end{aligned} \quad (6.9)$$

де $[\hat{v}_k]$ – інтервальна оцінка концентрації діоксиду азоту на часових дискретах $k = d, \dots, K$; $\hat{\vec{g}}$ – вектор оцінок параметрів моделі.

При побудові моделі (6.9) та при її використанні усі обчислення здійснюємо із правилами інтервальної арифметики. Такі моделі отримали назву інтервальних дискретних моделей динамічних об'єктів (ІДМДО).

Як бачимо, у випадку параметричної ідентифікації інтервальних моделей динаміки діоксиду азоту, маємо справу з математичною задачею, суть

якої зводиться до знаходження розв'язку інтервальної системи нелінійних алгебричних рівнянь (ІСНАР).

Сумісність ІСНАР (6.8) означає належність інтервалів значень прогнозованої концентрації діоксиду азоту $[\hat{v}_k]$ на часових дискретах $k = 0, \dots, K$ до інтервалів $[z_k^-; z_k^+]$, які отримані на основі експериментальних досліджень у тих самих часових дискретах, тобто, за умови виконання наступних відношень:

$$[\hat{v}_k] \subset [z_k^-; z_k^+], k = 0, \dots, K \quad (6.10)$$

Отже, ітераційна процедура для методу оцінювання розв'язку ІСНАР (6.8) ґрунтується на дослідженні «якості» оцінки параметрів математичної моделі на кожній ітерації, яка представляється наступним різницеvim рівнянням (6.9). На кожній 1-тій ітерації якість оцінки параметрів моделі задаємо величиною $\delta(\hat{g}_1)$, яка розраховується як різниця центрів модельованого та експериментального інтервалів $[z_k^-; z_k^+]$ для кожної дискрети – у випадку, якщо не перетинання цих інтервалів.

Якщо ці інтервали перетинаються, то функцію $\delta(\hat{g}_1)$ визначаємо знаходженням найменшої ширини перетину між прогнозованими та експериментальними інтервалами. Відношення, що описує функцію $\delta(\hat{g}_1)$, для розглянутих вище випадків, представляємо у наступному вигляді:

$$\delta(\hat{g}) = \max_{i=1, \dots, N} \left\{ \left| \text{mid}([\hat{v}_k]) - \text{mid}([z_k^-; z_k^+]) \right| \right\},$$

якщо $[\hat{v}_k] \cap [z_k^-; z_k^+] = \emptyset, \exists k = 0, \dots, K$ (6.11)

$$\delta(\hat{g}) = \max_{i=1, \dots, N} \left\{ \text{wid}([\hat{v}_k]) - \text{wid}([\hat{v}_k] \cap [z_k^-; z_k^+]) \right\}, \text{якщо}$$

$$[\widehat{v}_k] \cap [z_k^-; z_k^+] \neq \emptyset, \forall k = 0, \dots, K \quad (6.12)$$

Оскільки кожне рівняння формується рекурентно, то ІСНАР (6.8) є складною. У випадку побудови ІДМДО, задача зводиться до обчислення тільки одного розв'язку інтервальної системи нелінійних алгебраїчних рівнянь.

Варто зауважити, що умови (6.10) забезпечують виконання наступного відношення:

$$\delta(\widehat{g}_l) = 0. \quad (6.13)$$

Для використання формул (6.11) та (6.12) з метою визначення значень функції $\delta(\widehat{g}_l)$, представимо їх у більш розгорнутому вигляді наступним відношенням:

$$\delta(\widehat{g}_l) = \max_{i=1, \dots, N} \left\{ \begin{array}{l} \text{mid}(\vec{f}^T([\widehat{v}_{k-d}], \dots, \\ \dots, [\widehat{v}_{k-1}], \vec{u}_0, \dots, \vec{u}_{d-1}, \vec{u}_k) \cdot \widehat{g}) - \\ - \text{mid}([z_k^-; z_k^+]) \end{array} \right\} \quad (6.13)$$

якщо $[\widehat{v}_k] \cap [z_k^-; z_k^+] = \emptyset, \exists k = 0, \dots, K$

$$\delta([\widehat{g}_l^-; \widehat{g}_l^+]) = \max_{i=1, \dots, N} \left\{ \begin{array}{l} \text{wid}(\vec{f}^T([\widehat{v}_{k-d}], \dots, \text{wid}(\vec{f}^T([\widehat{v}_{k-d}], \dots, [\widehat{v}_{k-1}], \vec{u}_0) \\ \dots, [\widehat{v}_{k-1}], \vec{u}_0, \dots, \vec{u}_{d-1}, \vec{u}_k) \cdot \widehat{g}) - \vec{u}_{d-1}, \vec{u}_k) \cdot \widehat{g}) \cap [z_k^-; z_k^+] \end{array} \right\} \quad (6.14)$$

якщо $[\widehat{v}_k] \cap [z_k^-; z_k^+] \neq \emptyset, \forall k = 0, \dots, K$.

Важливо також дослідити, як оптимальним чином представити покрокову процедуру розрахунку послідовності інтервальних оцінок параметрів $\widehat{g}_1, \widehat{g}_2, \dots, \widehat{g}_l, \dots$.

Для того щоб забезпечити збіжність самої ітераційної процедури, потрібно забезпечити послідовне оцінювання значень $\delta(\widehat{g}_1), \delta(\widehat{g}_2), \dots, \delta(\widehat{g}_l)$, які обчислені за допомогою виразів (6.15), або (6.16), а це спонукає до виконання наступних умов:

$$\delta(\widehat{g}_1) > \delta(\widehat{g}_2) > \dots > \delta(\widehat{g}_l), \dots > \delta(\widehat{g}_{l=L} \subset \Omega), \quad (6.15)$$

де Ω - у даному випадку позначає область розв'язків інтервальної системи нелінійних алгебраїчних рівнянь.

Задача параметричної ідентифікації інтервальних моделей складного об'єкта представляється наступною оптимізаційною задачею, яка описується виразом:

$$\delta(\widehat{g}_l) \xrightarrow{\widehat{g}_l} \min, \widehat{g}_{jl} \in [g_{jl}^{low}; g_{jl}^{up}], \quad (6.16)$$

$$j = 1, \dots, m, l = 1, \dots, S$$

де значення функції мети $\delta(\widehat{g}_l)$ обчислюватимемо за формулою (6.13), чи (6.14).

Спираючись на результати праць [252, 253] та удосконаленому методі, який представлений у другому розділі даної роботи та методу параметричної ідентифікації на основі поведінкових моделей бджолоїної колонії ми можемо розв'язати задачу параметричної ідентифікації, яка математично описана відношенням (6.16).

Проблемою застосування вищезначеного підходу є складність використання побудованої інтервальної моделі у випадку інших умов середовища.

Наприклад, у праці [60] розглянуто застосування зазначеного методу для побудови моделі поширення забруднень шкідливих викидів автотранспорту із використанням процесу математичного моделювання добового циклу динаміки концентрацій шкідливих викидів NO₂ (діоксид азоту) на перехресті центральних вулиць м. Тернопіль.

Результати експериментів показали, що побудована у праці модель динаміки концентрацій діоксиду азоту не є універсальною, тобто не може бути використана для моделювання в інших точках міста, а бо за інших погодних умов. Це пов'язано із неврахуванням дії різних в тому числі і випадкових чинників, які є характерними для конкретної точки у якій здійснюється моделювання. До такого виду чинників відносять: природна вентиляція; наявність вертикальних та горизонтальних потоків повітря тощо.

Практична реалізація онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних характеризується формуванням спільних елементів структур, виходячи із специфічних особливостей їх практичного використання для окремих предметних областей.

Таким чином, для підвищення прогностичних властивостей моделей пропонуємо модифікувати вищеописаний підхід із використанням нелінійного елементу в моделі, який виконує функцію перемикача для обрання адекватної моделі, в залежності від умов її застосування та відповідної зміни середовища використання.

В інформаційному репозиторію зберігається база напрацьованих математичних моделей, яка включає такі основні компоненти: формалізовані математичні моделі (рівняння, функції, параметри, константи); графічна інтерпретація результатів моделювання (графіки, таблиці, різноманітні схеми); результати проведення експериментальних досліджень (опис предметної області, характеристики перебігу експериментів, результати застосування математичних моделей).

В таблиці 6.1 представлено формальний опис математичних моделей на основі інтервальних даних для процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту.

Таблиця 6.1 – Приклад формалізованого представлення математичних моделей на основі інтервальних даних для процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту

Атрибут	Опис	Значення
<i>Ma</i>	предметна область	Шкідливі викиди
		Забруднення атмосфери
		Викиди автотранспортом
<i>Mi</i>	описи математичної моделі	$[\hat{v}_j^-; \hat{v}_j^+] = \hat{g}_1 \cdot [\hat{v}_{k-1}^-; \hat{v}_{k-1}^+] + \hat{g}_2 \cdot ([\hat{v}_{k-2}^-; \hat{v}_{k-2}^+] - [\hat{v}_{k-1}^-; \hat{v}_{k-1}^+])$
		$[\hat{v}_0^-; \hat{v}_0^+] \subset [52,25; 57,75], [\hat{v}_1^-; \hat{v}_1^+] \subset [44,65; 49,35],$ $\hat{g}_1 = 0,8897; \hat{g}_2 = -0,0261.$
<i>Mo</i>	множина предметних характеристик	поширення концентрацій окису вуглецю
		прямолінійна ділянка вулиці
		рівномірний рух транспортного потоку
		постійна потужністю викидів
<i>Attr</i>	множина параметрів	\hat{v}_k^- - концентрація CO в k-й момент часу
		x_k - відстань
		u_k - інтенсивність автотранспортних потоків
		z_k - виміряна концентрація
		$[v_k] = [v_k^-; v_k^+]$ - інтервальні значення концентрації окису вуглецю
<i>Mr</i>	множина можливих результатів	прогнозована динаміка добового циклу зміни концентрацій окиду вуглецю
		концентрацію окиду вуглецю в межах похибок спостережень
		комплекс моделей в інтервальному представленні, які описують процеси забруднення атмосфери шкідливими викидами
<i>Mc</i>	множина характеристик перебігу експериментів	похибка вимірювання концентрацій окиду вуглецю 25%
		добовий цикл концентрації шкідливих викидів автотранспорту
		зміна інтенсивності транспортних потоків

Продовження таблиці 6.1

<i>Mmt</i>	множина методів ідентифікації	випадковий пошук з лінійною тактикою
		процедура випадкового пошуку по найкращій спробі
		процедура з використанням направляючого конуса
		ідентифікація з адаптацією розподілу випадкового кроку
		на основі поведінкової моделі бджолоїної колонії
<i>Mi</i>	описи математичної моделі	$\hat{v}_k = 0,0149 - 0,5788\hat{v}_{k-2} + 0,7425\hat{v}_{k-3} + 0,046\hat{v}_{k-1}/\hat{v}_{k-4}, k=4,\dots,18$
		$\hat{v}_k = 0,124 - 0,5764\hat{v}_{k-2} + 0,7078\hat{v}_{k-3} + \frac{0,0473\hat{v}_{k-1}}{\hat{v}_{k-4}} + 0,0159\hat{v}_{k-1}\hat{v}_{k-2}/\hat{v}_{k-1}, k=4,\dots,18$
		$\hat{v}_k = 0,0226 - 0,6114\hat{v}_{k-2} + 0,7781\hat{v}_{k-3} + \frac{0,037\hat{v}_{k-1}}{\hat{v}_{k-4}} + 0,0282\hat{v}_{k-1}\hat{v}_{k-4}/\hat{v}_{k-2}, k=4,\dots,18$
<i>Mo</i>	множина предметних характеристик	динаміка концентрацій діоксиду азоту
		рівномірна інтенсивність транспортних потоків
		прямолінійна ділянка вулиці
<i>Attr</i>	множина параметрів	\hat{v}_k^- - концентрація NO ₂ в k-й момент часу
		u_k - інтенсивність автотранспортних потоків
		x_k - відстань
<i>Mr</i>	множина можливих результатів	інтервали прогнозованих значень концентрацій діоксиду азоту
		інтервали вимірюваних значень концентрацій діоксиду азоту
		інтервальна модель з простішою структурою
<i>Mc</i>	множина характеристик перебігу експериментів	похибка вимірювання концентрацій діоксиду азоту 15%
		контрольна інтенсивність транспортних потоків
		рівномірний період проведення вимірювань

На рисунку 6.5 представлено приклад реалізації онтології інтервальної математичної моделі для задачі моделювання динаміки концентрації шкідливих речовин в середовищі SmartOntologyModeller.

На основі методу вибору математичної моделі в рамках онтологічного підходу для моделювання на основі інтервальних даних можна здійснювати перемикання моделями з інформаційного репозиторію в залежності від умов та специфіки проведення відповідних експериментальних досліджень.

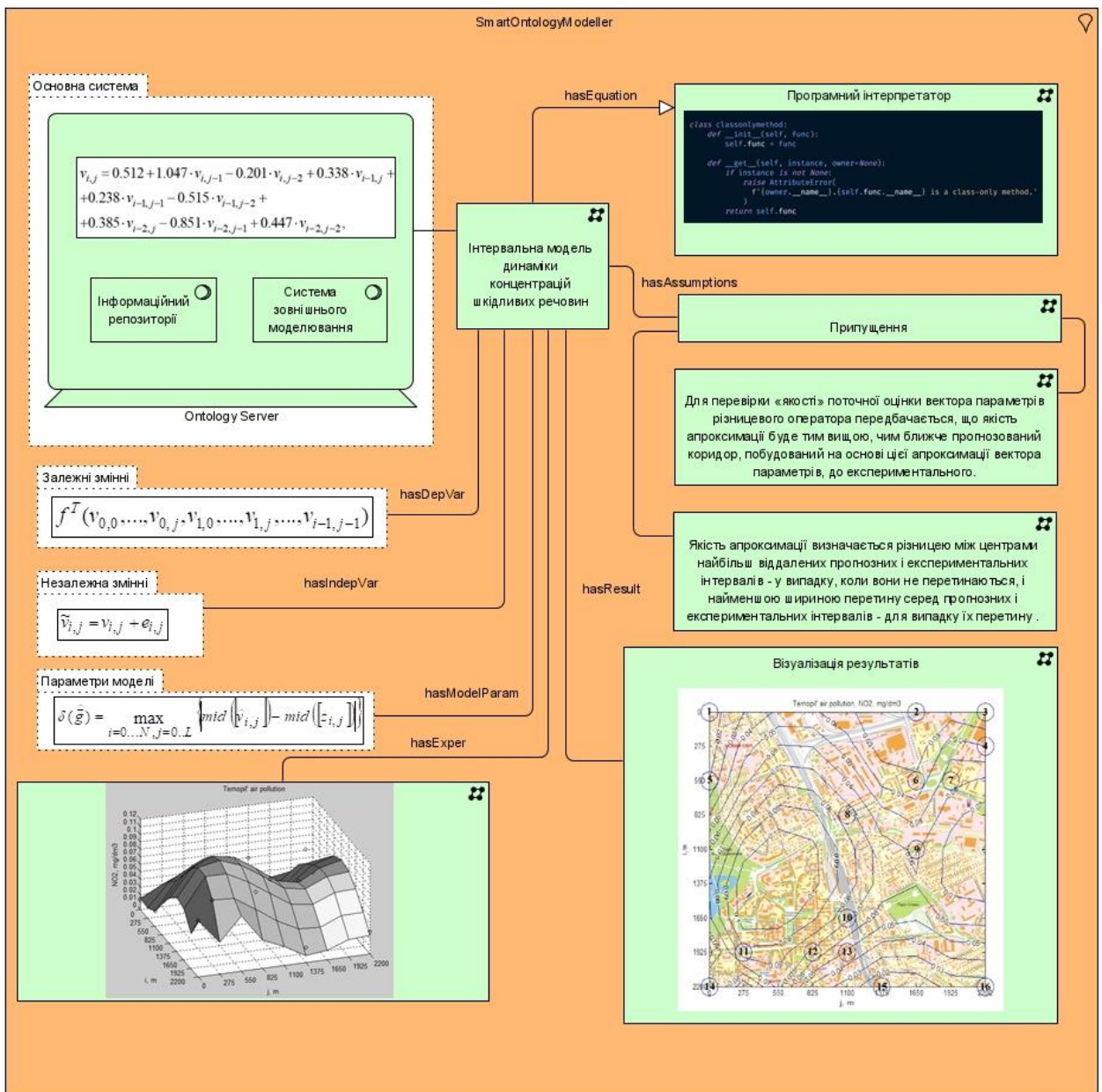


Рисунок 6.5 – Приклад реалізації онтології інтервальної моделі для задачі моделювання динаміки концентрації шкідливих речовин в середовищі SmartOntologyModeller

На рисунку 6.6 наведено приклад перемикання вибором математичної моделі на основі інтервальних даних в залежності від зміни предметних характеристик моделі. Перемикання відбувається за рахунок зміни умов середовища моделювання. Наприклад, зміна управляючої характеристики «концентрація окису вуглецю» на «концентрація діоксиду азоту» при однакових інших умовах перебігу проведення експериментів.

SmartOntologyModeller Інтервальні моделі Репозиторій мод...

Очистити вибір моделей Відкрити Зберегти Підключитися до середовища моделювання Експортувати опис моделі Завантажити як Попередній перегляд Вибір моделі Налаштування репозиторію Допомога & Зв'язок Увійти

Умови перебігу експериментів: Похибка вимірювань 15% **Умови**

Інтенсивність транспорту: Контрольована

$$y_{i,j} = 0.512 + 1.047 \cdot y_{i,j-1} - 0.201 \cdot y_{i,j-2} + 0.338 \cdot y_{i-1,j} + 0.238 \cdot y_{i-1,j-1} - 0.515 \cdot y_{i-1,j-2} + 0.385 \cdot y_{i-2,j} - 0.851 \cdot y_{i-2,j-1} + 0.447 \cdot y_{i-2,j-2}$$

Вибрати модель

- інтервальна модель з простою структурою
- інтервали вимірюваних значень концентрацій діоксиду азоту
- інтервали прогнозованих значень концентрацій діоксиду азоту

Експерименти

Рисунок 6.6 – Приклад перемикання вибору математичної моделі в залежності від зміни умов середовища моделювання або умов перебігу відповідного експерименту

У результаті проведеного аналізу вибірки даних для розглянутого прикладу, вдалося з'ясувати причину неможливості побудови єдиної моделі для дослідження динаміки концентрацій діоксиду азоту на перехрестях внаслідок забруднень автотранспортом, а саме – через неоднозначність зв'язку між концентрацією діоксиду азоту та інтенсивністю руху автотранспорту для різних точок міста. Як витікає з проведеного аналізу, для усунення цієї проблеми необхідно здійснювати управління вибраним структурним елементом моделі.

6.3. Інтервальна модель портрету користувачів тематичної групи з проблем екології у соціальній мережі

У сучасному світі соціальні мережі стали одним із основних джерел поширення та накопичення інформації. Поширення інформації здійснюється

через особисті повідомлення, статті в основному профілі, групі або спільноті [98, 227].

Моделювання інформаційних процесів у соціальних мережах дозволяє досліджувати, виявляти особливості протікання та поширення інформації у визначений момент часу і прогнозований інтервал, виявляти незвичайні або підозрілі дії (поширення фейкової інформації, виявлення недостовірної або неактуальної інформації) [37, 38, 45, 98, 119]. Крім цього, процес моделювання дозволяє проводити дослідження можливих сценаріїв розвитку подій, якщо відсутні наявні дані про поведінку користувачів у різних часових проміжках спостереження [227].

Складність такої задачі супроводжується необхідністю врахування великої кількості факторів, які характеризуються структурною та поведінковою неоднорідністю соціальних мереж та відповідними обмеженнями технологій збору та накопичення даних. Дослідження великих соціальних мереж повинно враховувати поведінку учасників окремих соціальних груп, їх адаптацію до змін.

Одиницею інформації, що передається через соціальну мережу, є інформаційне повідомлення (IP). Інформаційне повідомлення описується кортежем параметрів

$$IP = \langle r, Id, timer, themer, vp, r \rangle \quad (6.17)$$

де r - джерело повідомлення, Id - ідентифікатор повідомлення, $timer$ - час публікації повідомлення, $themer$ - тематика, $vp = \{vp_i\}$ - віральність, $r = \{r_i\}$ число, яке характеризує різні типи реакцій на новину.

Віральність інформаційного повідомлення характеризує здатність контенту до самостійного поширення. Деякі параметри інформаційного повідомлення можуть в процесі моделювання динамічно змінюватися.

Наприклад, кількість реакцій на повідомлення є прикладом динамічно змінюваних параметрів для різних часових проміжків [43, 227].

При цьому у соціальних мережах підтримуються різні типи каналів поширення інформації: «користувач-користувач», «група-група», «група-користувач».

В соціальних мережах поширення інформації визначається не тільки параметрами індивідуальних реакцій, але і деякою визначеною топологією графа зв'язків (наявність підписників, друзів) для досліджуваних тематичних груп.

Вхідними даними моделі є:

- публікаційна активність групи та користувачів у мережі (стаття та її основні атрибути, наприклад, дата публікування, текст інформаційного повідомлення, кількість коментарів та поширень);

- наявність реакції та користувацька активність (наявність цифрового сліду користувача у мережі);

- топологічні дані (характеризують типологію взаємодії для визначених елементів мережі).

Вихідним результатом моделі є інформація, яка описує реакцію користувачів в динаміці на визначені повідомлення, а також реакції груп користувачів до різних тем.

Можна виділити кілька типів користувачів, які характеризують деяке інформаційне повідомлення: перший тип це користувачі, які переглянули та прочитали повідомлення, а другий тип – користувачі, які мають можливість бачити це повідомлення.

Для моделювання та прогнозування інформаційних процесів можна реалізувати модель поширення інформації в соціальній мережі. Дана модель буде дискретною: кожній ітерації відповідає певний момент часу.

Джерелом та отримувачем інформації будуть агенти, які належать як до однакового, так і до різних типів користувачів. Наприклад, конкретна людина є джерелом, коли публікує коментар до повідомлення на сторінці групи, а тоді

група є отримувачем (через механізм модерації є можливість також реагувати на повідомлення).

Модель реакції на повідомлення M_{reak} описує для кожної пари (користувач, повідомлення) реакцію користувача на конкретне повідомлення, і відповідно який тип реакції він визначить.

Модель, яка описує процес генерації повідомлення, характеризує інформацію про появу нових повідомлень, наприклад, дату і час створення та відповідні параметри контенту. На основі побудованої моделі можна згенерувати ланцюжок повідомлень тематичної групи. В результаті використання соціальних мереж користувачі залишають певні цифрові сліди (набір активностей, дій, повідомлень), які можна використати в процесі ідентифікації моделі. Необхідно відзначити, що цифрові сліди окремих користувачів дуже часто характеризуються невеликою кількістю подій, тому здійснюємо процедуру агрегування цих даних.

Побудова математична модель повинна відображати динаміку розподілу коментарів до інформаційних повідомлень в соціальній мережі, який би відображав узагальнений портрет користувачів мережі. Таким чином, математична модель матиме вигляд рівняння, яке описує динаміку розподілу коментарів до інформаційних повідомлень.

Як відомо, такі рівняння є диференціальними, або їх дискретними аналогами [230, 231]. В нашому випадку обираємо дискретне різницеve рівняння, а для його ідентифікації використаємо результати спостережень за активностями користувачів деякої соціальної мережі. Також врахуємо, що у процесі моделювання можуть змінюватися показники повідомлень. Останнє призведе до “розмитості” чи неточності результатів експериментальних досліджень, що можливо урахувати на основі аналізу інтервальних даних [43, 227].

Таким чином, при побудові моделі динаміки розподілу коментарів до інформаційних повідомлень використовуємо такі припущення:

- модель має вигляд дискретного рівняння

$$v_k = \vec{f}^T(v_{k-d}) \cdot \vec{g}, k = d, \dots, K, \quad (6.18)$$

де v_k – розподіл коментарів на часових дискретах $k = d, \dots, K$; d – порядок дискретної моделі (6.18), який еквівалентний порядку диференціального рівняння; \vec{g} – вектор невідомих параметрів моделі; $\vec{f}^T(\bullet)$ – вектор базисних функцій, у загальному випадку нелінійних.

- результати спостережень за реакцією користувачів мережі подамо в інтервальному вигляді:

$$[z_k^-; z_k^+], k = 0, \dots, K, \quad (6.19)$$

де z_k^-, z_k^+ – відповідно, нижня та верхня межі інтервалу можливих значень розподілу коментарів користувачів на часових дискретах $k = 0, \dots, K$.

- концепцію забезпечення точності математичної моделі в межах точності результатів експерименту сформулюємо таким чином:

$$[\hat{v}_k^-; \hat{v}_k^+] \subset [z_k^-; z_k^+], \forall k = 0, \dots, K, \quad (6.20)$$

Умови (6.20) забезпечують отримання інтервальних оцінок $[\hat{v}_k^-; \hat{v}_k^+]$ модельованого розподілу коментарів до інформаційних повідомлень в межах інтервалів можливих значень цього розподілу, отриманого експериментально.

Спираючись на вищенаведені припущення, для ідентифікації дискретної моделі (6.18) використовуємо методи аналізу інтервальних даних і зокрема метод параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей на основі алгоритмів штучної бджолиної колонії [46, 93].

Основна мета використання моделі – побудова оптимального розкладу публікацій спеціалізованої групи для максимізації реакцій на повідомлення із

врахуванням наявних обмежень, які зумовлені політикою публікацій окремих груп в соціальних мережах.

Практичним результатом дослідження повинно стати реалізація аналітичних систем моніторингу та систем підтримки прийняття рішень для управління соціальною групою на користь різних категорій користувачів.

Вибір актуальних інформаційних ситуацій за даними початку 2021 року для проведення експериментальних досліджень було обумовлено:

- 1) різними масштабами та сценаріями моделювання;
- 2) тестуванням різноманітних характеристик інформаційних повідомлень.

У зв'язку з цим для експериментів було обрано спеціалізовану тематичну групу, яка пов'язана з обговоренням актуальних проблем екології та охорони довкілля і створена та функціонує в соціальній мережі Facebook. Основні характеристики наборів ретроспективних даних, за якими проводилася побудова інтервальної математичної моделі, наведено таблиці 6.1.

Таблиця 6.2 – Структура аналізованих даних

Тип даних	Основні поля	Тип даних	Основні поля
Користувачі	- id групи; - id користувача; - дата збору інформації.	Коментарі	- id групи; - id повідомлення; - id користувача; - текст коментаря; - дата реакції.
Інформаційне повідомлення	- id групи; - id поста; - тип повідомлення; - тип джерела отримання повідомлення; - дата публікації; - текст; - число коментарів; - число лайків; - число репостів; - дата збору інформації.	Репости	- id спільноти; - id поста; - id користувача; - дата реакції.
		Лайки	- id спільноти; - id поста; - id користувача; - дата збору інформації.

За допомогою розробленого програмного забезпечення, а також використання засобів інтеграції з Facebook Арі здійснено накопичення даних відповідно до описаної в таблиці 6.2 структури. В якості основних характеристик обрано – часові характеристики появи коментарів до статей із моменту появи відповідного повідомлення та загальну кількість коментарів за спостережуваний період.

На рисунку 6.7 наведено результати експериментальних досліджень для групи Facebook «Environmental Awareness». В якості аналізованого періоду спостереження вибрано 01.1.2021-31.01.2021. Аналізована група є загальнодоступною, налічує понад 28 тисяч учасників із середньою кількістю інформаційних повідомлень на день – 15.

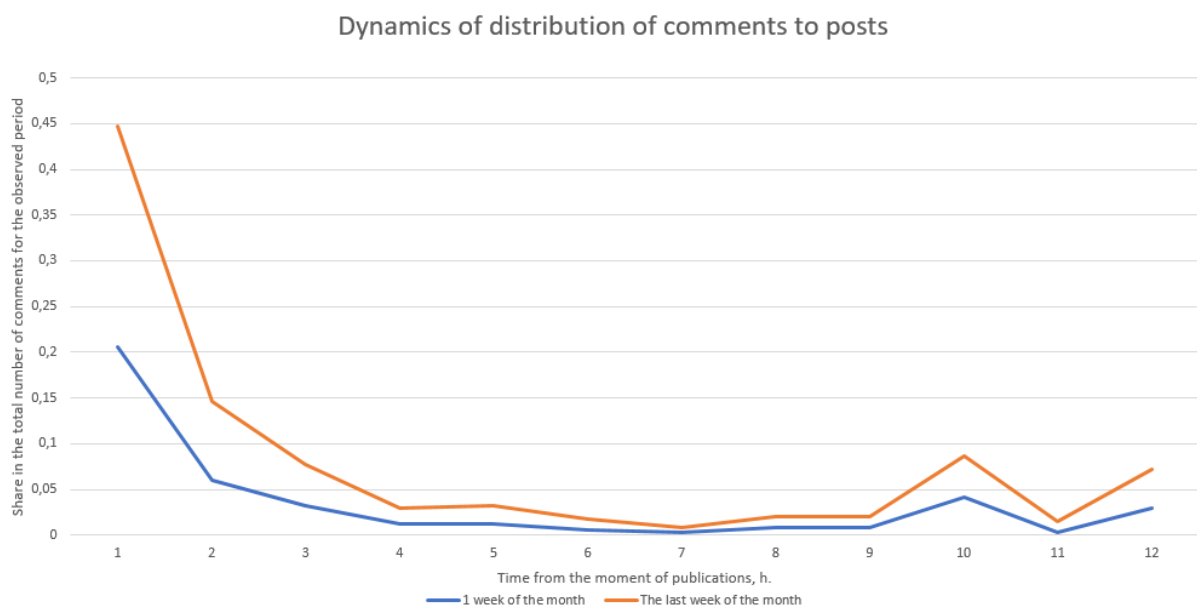


Рисунок 6.7 – Результати експериментальних досліджень

На основі проведеного дослідження визначено інтервали динаміки коментарів до інформаційних повідомлень для кожної години протягом тижня в межах спостережуваного періоду.

Спираючись на результати проведених експериментальних досліджень, наведених у таблиці 6.2, а також на основні припущення щодо побудови

дискретної моделі у вигляді (6.18)-(6.20) спочатку задаємо таку структуру моделі

$$v_k = g_1 + g_2 v_{k-1} + g_3 v_{k-2} \quad , \quad k = 2, \dots, 11 \quad (6.21)$$

Для оцінювання коефіцієнтів g_1, g_2, g_3 використовуємо дані таблиці 6.2.

При цьому початкові дані задаємо у такому вигляді:

$$[\hat{v}_0^-; \hat{v}_0^+] = [0,5(z_0^- + z_0^+) - 0,005(z_0^+ - z_0^-); 0,5(z_0^- + z_0^+) + 0,005(z_0^+ - z_0^-)],$$

$$[\hat{v}_1^-; \hat{v}_1^+] = [0,5(z_1^- + z_1^+) - 0,005(z_1^+ - z_1^-); 0,5(z_1^- + z_1^+) + 0,005(z_1^+ - z_1^-)].$$

Результати обчислень показали, що отримана модель є неадекватною в сенсі виконання умови (6.20)

Таблиця 6.3 – Інтервали динаміки коментарів до постів

Час з моменту публікації k	Частка у загальній кількості коментарів за спостережуваний період	
	z_k^-	z_k^+
1	0.205970149	0.241791045
2	0.059701493	0.086567164
3	0.032835821	0.044776119
4	0.011940299	0.017910448
5	0.011940299	0.020895522
6	0.005970149	0.011940299
7	0.002985075	0.005970149
8	0.008955224	0.011940299
9	0.008955224	0.011940299
10	0.041791045	0.044776119
11	0.002985075	0.011940299
12	0.029850746	0.041791045

На рисунку 6.8 наведено скріншот, користувацького інтерфейсу програмного забезпечення, що реалізує метод параметричної ідентифікації на основі алгоритму бджолоїної колонії.

i0	[0.22376865671642, 0.22399253731343] 0
i1	[0.073134329, 0.076492538] 0
i2	[0.038786567164179, 0.038825373134328] 0
i3	[0.014917910447761, 0.014932835820896] 0
i4	[0.006135693694758, 0.00643744503465] 0.010131
i5	[0.010573380252853, 0.011432503230713] 0
i6	[0.0068192026671897, 0.007485095849017] 0.002675
i7	[0.019917551309012, 0.021315237273596] 0.010169
i8	[0.012500659815923, 0.013928579409839] 0.002767
i9	[0.031837699143391, 0.034403976430302] 0.010163
i10	[0.015970300213961, 0.018891863020623] 0.009968
i11	[0.044432742954545, 0.049199002492058] 0.010995

Рисунок 6.8 – Скріншот результатів параметричної ідентифікації структури (6.5)

На рисунку 6.8 синім кольором відзначено дискрети, в яких не виконуються умови (6.20), а червоним кольором відзначено дискрету де розбіжність між модельованими та експериментальними інтервалами найбільша.

Тоді прийняли рішення ускладнити структуру різницевого рівняння (збільшити кількість елементів) до такого вигляду:

$$v_k = g_1 + g_2 v_{k-1} + g_3 v_{k-2} + g_4 v_{k-3}, k = 3, \dots, 11 \quad (6.22)$$

g_1, g_2, g_3, g_4 використовуємо дані таблиці 6.2. При цьому початкові дані задаємо у такому вигляді:

$$\begin{aligned} [\hat{v}_0^-; \hat{v}_0^+] &= [0,5(z_0^- + z_0^+) - 0,005(z_0^+ - z_0^-); 0,5(z_0^- + z_0^+) + \\ &0,005(z_0^+ - z_0^-)], [\hat{v}_1^-; \hat{v}_1^+] = [0,5(z_1^- + z_1^+) - 0,005(z_1^+ - z_1^-); 0,5(z_1^- + z_1^+) + \\ &0,005(z_1^+ - z_1^-)], [\hat{v}_2^-; \hat{v}_2^+] = [0,5(z_2^- + z_2^+) - 0,005(z_2^+ - z_2^-); 0,5(z_2^- + z_2^+) + \\ &0,005(z_2^+ - z_2^-)]. \end{aligned}$$

Результати обчислень наведено на рисунку 6.9. Як бачимо, модель у вигляді структури (6.21) виявилася також неадекватною, хоча розбіжність між модельованими та експериментальними даними зменшилася. В результаті прийняли рішення ще ускладнити структуру моделі до такого вигляду

$$v_k = g_1 + g_2 v_{k-1} + g_3 v_{k-2} + g_4 v_{k-3} + g_5 v_{k-4}, k = 4, \dots, 11 \quad (6.23)$$

При цьому початкові дані задаємо у такому вигляді:

$$\begin{aligned} [\hat{v}_0^-; \hat{v}_0^+] &= [0,5(z_0^- + z_0^+) - 0,005(z_0^+ - z_0^-); 0,5(z_0^- + z_0^+) + 0,005(z_0^+ - z_0^-)], \\ [\hat{v}_1^-; \hat{v}_1^+] &= [0,5(z_1^- + z_1^+) - 0,005(z_1^+ - z_1^-); 0,5(z_1^- + z_1^+) + 0,005(z_1^+ - z_1^-)], \\ [\hat{v}_2^-; \hat{v}_2^+] &= [0,5(z_2^- + z_2^+) - 0,005(z_2^+ - z_2^-); 0,5(z_2^- + z_2^+) + 0,005(z_2^+ - z_2^-)], \\ [\hat{v}_3^-; \hat{v}_3^+] &= [0,5(z_3^- + z_3^+) - 0,005(z_3^+ - z_3^-); 0,5(z_3^- + z_3^+) + 0,005(z_3^+ - z_3^-)] \end{aligned}$$

i0	[0.50083838475499, 0.50133947368421] 0
i1	[0.14520866606171, 0.14535394736842] 0
i2	[0.077366016333938, 0.077443421052632] 0
i3	[0.02956778584392, 0.029597368421053] 0
i4	[0.012953220881176, 0.013167972040791] 0.019154
i5	[0.022351204368054, 0.022489315743005] 0.004997
i6	[0.016765835979552, 0.017106807183771] 0.008225
i7	[0.041116681597835, 0.041440936932955] 0.020408
i8	[0.027569200441121, 0.028171663440853] 0.006999
i9	[0.063059985975333, 0.063745402676003] 0.021715
i10	[0.03135206752967, 0.032457531173017] 0.01793
i11	[0.085842771569355, 0.087226755311082] 0.01521

Рисунок 6.9 – Скріншот результатів параметричної ідентифікації структури (6.6)

Результати зіставлення модельованих результатів із експериментальними наведено на рисунку 6.10. Як бачимо отримана модель (6) із коефіцієнтами $g_1 = 0.011021$, $g_2 = -0.276223$, $g_3 = 1.388641$, $g_4 = -0.057636$, $g_5 = -0.22417$, забезпечує виконання умов (3) і в цьому сенсі є адекватною.

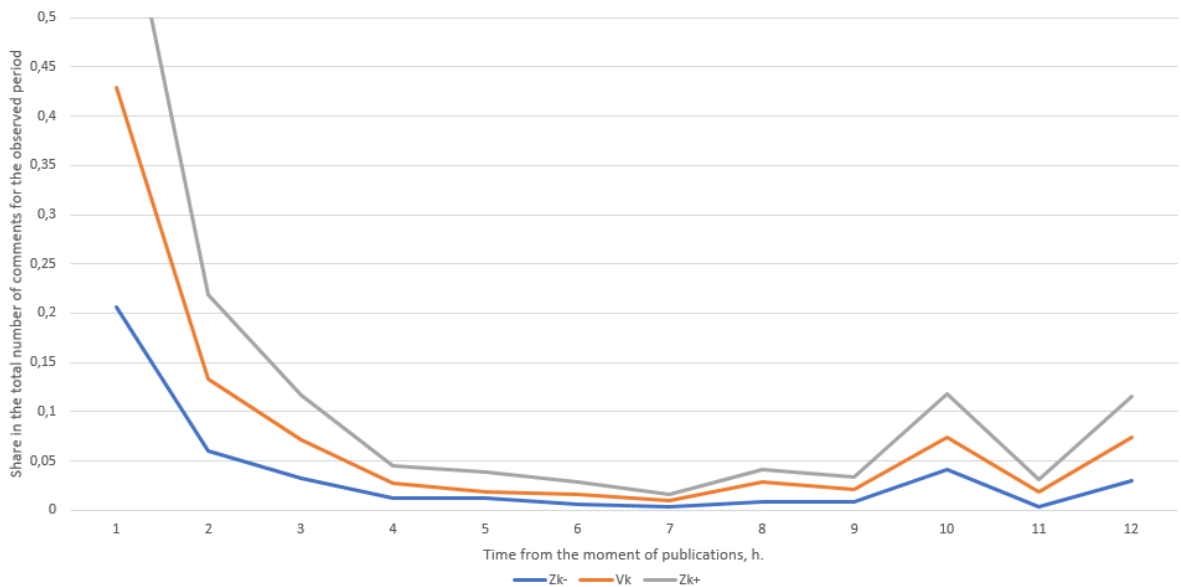


Рисунок 6.10 – Скріншот результатів параметричної ідентифікації структури (6.22)

Отримана модель відображає портрет користувачів вказаної соціальної мережі. Використання моделі дає можливість побудувати оптимальний розклад публікацій спеціалізованої групи для максимізації кількості реакцій на повідомлення у вказаному інтервалі часу з моменту публікації.

На основі підходу до моделювання базових показників активності користувачів в тематичній групі соціальної мережі побудовано інтервальну математичну модель портрету користувачів тематичної групи з проблем екології у соціальній мережі Facebook.

Він дозволяє врахувати характерні для нелінійних систем особливості, такі як залежність збурень від поточних значень показника, циклічність процесів, стрибкоподібні зміни характеристик. Для врахування таких явищ, з одного боку, і для можливості використання корисних властивостей лінійних

систем ідентифікації, з іншого, в роботі реалізується підхід на основі класифікації можливих станів досліджуваного показника. В області значень показника вибираються інтервали. При знаходженні значень показника всередині інтервалу його динаміка описується найпростішими лінійними рівняннями.

Запропонована в роботі інтервальна модель, яка побудована на основі реальних реакцій користувачів на інформаційні повідомлення дозволяє побудувати їх стійкий портрет з метою побудови оптимального розкладу публікацій спеціалізованої групи для максимізації кількості реакцій на повідомлення з урахуванням обмежень, зумовлених публікаційною політикою окремих груп в соціальних мережах.

Висновки до розділу 6

1. Розглянуто задачі структурної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів для різних задач: екологічний моніторинг, медицина, управління публікаційною активністю користувачів спеціалізованої групи. Для розв'язування вказаних задач використовувався розроблений програмний комплекс для моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу.

2. Набули подальшого розвитку інтервальні моделі для візуалізації зворотного гортанного нерва при проведенні операції на щитовидній залозі, які, на відміну від існуючих, за рахунок повторного використання напрацьованих моделей із відповідного репозиторію, що, відповідно, зменшує витрати часу на операцію на підготовчому етапі, коли хірург виявляє зворотній гортанний нерв.

3. Набули подальшого розвитку інтервальні моделі динаміки концентрації шкідливих речовин, які, на відміну від існуючих, за рахунок застосування методу вибору математичної моделі з репозиторію в рамках онтологічного підходу для моделювання на основі інтервальних даних

забезпечив спрощення процедури їх побудови та можливість повторного використання для управління зазначеним процесом в системах комп'ютерного моделювання.

4. Запропонована в роботі інтервальна модель, яка побудована на основі реальних реакцій користувачів на інформаційні повідомлення дозволяє побудувати їх стійкий портрет з метою побудови оптимального розкладу публікацій спеціалізованої групи для максимізації кількості реакцій на повідомлення з урахуванням обмежень, зумовлених політикою публікацій окремих груп в соціальних мережах.

5. Використання онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу, репозиторію побудованих інтервальних математичних моделей для досліджуваних складних об'єктів дозволило знизити обчислювальну складність при побудові математичних моделей для даного класу об'єктів.

ВИСНОВКИ

Отримані у дисертації наукові результати у сукупності вирішують науково-прикладну проблему зниження обчислювальної складності структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів з одночасним забезпеченням гарантованої точності цих моделей в межах, необхідних для розв'язування задач прийняття рішень та дослідження властивостей цих об'єктів.

При цьому, отримано такі наукові та практичні результати.

1. Проведено аналіз відомих методів та алгоритмів ідентифікації моделей характеристик складних об'єктів в умовах невизначеності і сформульовано можливі напрями розвитку цих методів. Проведено порівняльний аналіз відомих методів та засобів подання та обробки знань в інформаційних системах. Встановлено, що у випадку обмежених за значеннями вимірювальних похибок доцільно використовувати методи аналізу інтервальних даних. Обґрунтовано, що для формалізованого опису предметної області та умов розробки математичних моделей доцільно використати знання-орієнтований підхід на основі онтології. Обґрунтовано для моделювання певних складних об'єктів використання методу структурної ідентифікації на основі поведінкової моделі бджолиної колонії. Сформульовано основні недоліки зазначеного методу, які базуються на високій обчислювальній складності реалізації.

2. Розроблено концепцію ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів на основі поєднання методів аналізу інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваного об'єкта, так і до області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології. В рамках такої концепції розроблено новий гібридний метод структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів на основі поєднання методів інтервального аналізу, поведінкових моделей бджолиної колонії та

знання-орієнтованого підходу до опису предметної області об'єктів на основі онтології.

У результаті порівняння з відомими методами структурної ідентифікації встановлено, що розроблений гібридний метод ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів ефективніший, а при знаходженні структури моделі у репозиторії для подібних за функціонуванням об'єктів обчислювальна складність зменшується у 18795 разів за рахунок уникнення процедури структурної ідентифікації.

3. Розроблено метрику оцінки актуальності інформації в сервісно-орієнтованих системах, яка ґрунтується на показниках інтерпретованості, своєчасності та повноти інформації, що дозволила сформулювати основу для управління якістю та контекстом у веб-сервісах. Розроблено метод фільтрування даних на основі метрики оцінки актуальності інформації в сервісно-орієнтованих системах.

У результаті проведених досліджень встановлено, що якість оцінки актуальності інформації безпосередньо впливає на ефективність побудови математичних моделей в розрізі забезпечення повноти структури моделі, опису об'єкта моделювання, стійкості до зміни стану середовища чи умов отримання інтервальних даних.

4. Удосконалено метод структурної ідентифікації дискретних моделей складних об'єктів на основі обчислювальних процедур адаптивного налаштування вибору структурних елементів. Показано спосіб встановлення для кожного елемента множини ймовірності вибору і зміни цього розподілу на різних фазах поведінкової моделі бджолої колонії.

На прикладах структурної ідентифікації ряду інтервальних дискретних моделей показано, що при реалізації цього методу досягається зниження обчислювальної складності у порівнянні із відомим методом на 4% - для задач з невеликою розмірністю, а саме для 2 параметрів моделі, а із зростанням розмірності задачі до 6 параметрів в моделі досягається зниження обчислювальної складності у порівнянні із відомим методом на 21.48%.

У результаті проведених експериментів встановлено, що із збільшенням розмірності та складності задачі ідентифікації, ефективність застосування процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів зростає.

5. Створено комп'ютерне середовище для математичного моделювання складних об'єктів на основі інтервальних дискретних моделей, яке, на відміну від існуючих, ґрунтується на знання-орієнтованому підході опису області побудови даного класу математичних моделей із застосуванням онтології, що забезпечує його адаптацію та інтерпретацію в програмний код під задану предметну область та під конкретні вимоги користувача.

Запропоновано відкриту архітектуру такого середовища та показано особливості його реалізації на основі об'єктно-орієнтованого підходу за допомогою технології Spring Framework на мові програмування Java із використанням інтерпретатора Python. Розроблено репозиторій інтервальних моделей складних об'єктів, який вміщує онтологічний опис як предметної області їх застосування, так і умови розробки цих моделей, що забезпечило підвищення ефективності розробки зазначеного класу математичних моделей для користувачів.

6. Апробовано нові й удосконалені методи та розроблений програмний комплекс для розв'язування прикладних задач, зокрема для моніторингу забруднень атмосфери автотранспортом у м. Тернопіль; ідентифікації зворотного горганного нерва при проведенні операцій на щитовидній залозі в КНП Тернопільська комунальна міська лікарня №2; при впровадженні сервісно-орієнтованих корпоративних систем департаменту цифрової трансформації Тернопільської обласної державної адміністрації; моделювання динаміки дописів користувачів соціальної спільноти у компанії «Eleks»; побудови оптимального розкладу публікацій на офіційних сторінках в соціальних мережах Центру надання адміністративних у м. Тернопіль.

Ефективність запропонованих алгоритмів підтверджено результатами обчислювальних експериментів та впровадженням на ряді підприємств та організацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abraham A., Jatoth RK., Rajasekhar A. Hybrid differential artificial bee colony algorithm. *J. Comput. Theor. Nanosci.* 2012. Vol. 9(2). P.249–257.
2. Abstract book of the First World Congress of Neural Monitoring in Thyroid and Parathyroid Surgery. Krakow, Poland. 2015. 161 p.
3. Aït-Ameur Y., Ait-Sadoune I., Hacid K., Mohand Oussaid L. Formal modelling of ontologies within Event-B. *First International Workshop on Handling IMPLICIT and EXPLICIT knowledge in formal system development.* Nov. 2017. Xi'an, China. (hal-01636944).
4. Akay B., Karaboga D. A modified artificial bee colony algorithm for real-parameter optimization. *Inf. Sci.* 2012. Vol.192. P. 120–142.
5. Akay B., Karaboga D. A survey on the applications of artificial bee colony in signal, image, and video processing. *Signal Image Video Process.* 2015. Vol. 9(4). P. 967–990.
6. Akay B., Karaboga D., Gorkemli B., Kaya E. A survey on the artificial bee colony algorithm variants for binary, integer and mixed integer programming problems. *Appl. Soft Comput.* 2021. Vol.106. 107351.
7. Alefeld G., Mayer G. Interval analysis: theory and applications. *Journal of Computational and Applied Mathematics.* 2000. Vol.121. P. 421-464.
8. Ali M.M., Yang R., Zhang B., Furini F., Rai R., Otte J. N., Smith B. Enriching the functionally graded materials (FGM) ontology for digital manufacturing. *International Journal of Production Research.* 2020. P. 1-18.
9. Alshattnawi S., Afifi L., Shatnawi A.M., Barhoush M.M. Utilizing genetic algorithm and artificial bee colony algorithm to extend the WSN lifetime. *International Journal of Computing.* 2022. Vol.21(1). P.25-31.
10. Anastasakis L., Neil Mort N. The development of self-organization techniques in modelling: a review of the group method of data handling (GMDH)”. ACSE Research Report. 2001. 39 p.

11. Androshchuk O., Berezenskyi R., Lemeshko O., Melnyk A., Huhul O. Model of explicit knowledge management in organizational and technical systems. *International Journal of Computing*. 2021. Vol. 20, Iss. 2. P. 228–236.
12. Atmosphere monitoring service. Available online: <https://atmosphere.copernicus.eu/> (accessed on 20 July 2022).
13. Badillo-Márquez, Alina Evelyn, Alberto Alfonso Aguilar-Lasserre, Marco Augusto Miranda-Ackerman, Oscar Osvaldo Sandoval-González, Daniel Villanueva-Vásquez, Rubén Posada-Gómez. An Agent-Based Model-Driven Decision Support System for Assessment of Agricultural Vulnerability of Sugarcane Facing Climatic Change. *Mathematics*. 2021. Vol.9, Issue 3061. P. 1–32.
14. Bartuskova A., Soukal I. The novel approach to organization and navigation by using all organization schemes simultaneously. *Perspectives in business informatics research*. Řepa V., Bruckner T., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland. 2016. P. 99–106.
15. Bechkit W.B., Rivano H. On the deployment of wireless sensor networks for air quality mapping: optimization models and algorithms. *IEEE/ACM Trans. on Networking*. 2019. Vol. 27 (4). P.1629-1642.
16. Belfadel A., Amdouni E., Laval J., Cherifi C., Moalla N. Ontology-based software capability container for RESTful APIs. *9th IEEE International Conference on Intelligent Systems (IS 2018)*. Sep. 2018. Madeira, Portugal. P. 466-473.
17. Bertalanffy L. *General System Theory: Foundations / Ludwig Bertalanffy*. – New York: George Braziller: Development, Applications. – 296 p.
18. Boubrima et al. Optimal WSN deployment models for air pollution monitoring. *IEEE Trans. Wireless Commun.* 2017. Vol. 5. P.2723-2735.
19. Boukraâ, D., Boussaïd, O., Bentayeb, F. OLAP Operators for Complex Object. *Advances in Databases and Information Systems*. 2010. P. 103–116.
20. Burek P. Towards a modern ontology development environment. *Procedia Computer Science*. 2020. P. 176.

21. Camazine S., Sneyd J. ABCA A model of collective nectar source by honey bees: Self-organization through simple rules. *Journal of Theoretical Biology*. 1991. Vol. 149. P. 547–571.
22. Cao J., He Y-L., Zhu QX. An ontology-based procedure knowledge framework for the process industry. *Can J Chem Eng*. 2021. Vol. 99. P. 530– 542.
23. Ceri S., Fraternali P., Matera M. Conceptual modeling of data-intensive web applications. *IEEE Internet Computing*. 2002. Vol.6(4). P. 20–30
24. Cerreta M., Panaro S., Poli G. A Spatial Decision Support System for Multifunctional Landscape Assessment: A Transformative Resilience Perspective for Vulnerable Inland Areas. *Sustainability* 13, 2021, P. 1-22.
25. Chimalakonda S., Nori K.V. An ontology based modeling framework for design of educational technologies. *Smart Learn. Environ*. 2020. Vol. 7. 28 p.
26. Chiosa, Roberto, Marco Savino Piscitelli, Alfonso Capozzoli. A Data Analytics-Based Energy Information System (EIS) Tool to Perform Meter-Level Anomaly Detection and Diagnosis in Buildings. *Energies*. 2021. Vol.14, Issue 237. P. 1–18.
27. Christou I.T, Darrell W.L., De Long K., Martin W. Evolutionary algorithms. Springer-Verlag, New York. 2021. 602 p.
28. Cimiano P., Völker J. Text2Onto – a Framework for ontology learning and data-driven change discovery. *Proceedings of the 10th International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems (NLDB'2005)*. 2005. P. 227-238.
29. Conati C., Carenini G., Hoque E., Steichen B., Toker D. Evaluating the Impact of User Characteristics and Different Layouts on an Interactive Visualization for Decision Making. *Eurographics Conference on Visualization*. Vol. 33(3). P. 371-380.
30. Daniel J. Power, Frada B, Sharda R. Reflections on the Past and Future of Decision Support Systems: Perspective of Eleven Pioneers. *Springer Science+Business Media, LLC* , 2011. P. 25-48.

31. Debellis M. A Practical guide to building OWL ontologies using Protégé 5.5 and Plugins. 2021.
32. Dolzhenkov V. Software tools for ontology development. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020. Vol.9. P.935-941.
33. Dubey R. The impact of big data on world-class sustainable manufacturing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016. Vol.84(1-4). P. 631-645.
34. Duran G., Valero J., Amigó J.M., Giménez Á., Martínez-Bonastre O. Bifurcation analysis for the Internet congestion. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*. Paris, France. 29 April–2 May 2019. P.1073–1074.
35. Dymond A. The Knowledge Warehouse: The Next Step Beyond the Data Warehouse. *Data Warehousing and Enterprise Solutions. SUGI 27*. 2008. P. 144-27.
36. Dyvak M. Parameters identification method of interval discrete dynamic models of air pollution based on artificial bee colony algorithm. *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. 2020. P. 130-135.
37. Dyvak M., Kovbasistyi A., Melnyk A., Shcherbiak I., Huhul O. Recognition of relevance of web resource content based on analysis of semantic components. *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2019)*, Ceske Budejovice, Czech Republic. 2019. P. 297–302.
38. Dyvak M., Kovbasistyi A., Melnyk A., Turchyn L., Martsenyuk Y. System for web resources content structuring and recognizing with the machine learning elements. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2018. Vol.3. P. 128–134.

39. Dyvak M., Kozak O., Pukas A. Interval model for identification of laryngeal nerves. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2010. Vol. 86, no. 1. P. 139-140.
40. Dyvak M., Maslyiak Y., Pukas A. Information technology for modeling of atmosphere pollution processes by motor vehicle harmful emissions. *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*. 2019. P. 1-5.
41. Dyvak M., Melnyk A., Dostalek L., Ostroverkhov V., Honchar L., Romanets I. Repository of interval models of dynamics of concentrations of harmful emissions of motor transport. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Spisska Kapitula, Slovakia. 2022. P. 89–94.
42. Dyvak M., Melnyk A., Dyvak N., Papa O., Ostroverkhov V., Lobodina Z. Intelligent module of information processing for the applied software system to provide administrative services. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 604–607.
43. Dyvak M., Melnyk A., Kedrin Y. Interval model of the user reactions to messages in thematic groups of social networks. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. Proceedings of the XIVth International Conference TCSET'2022. Lviv–Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2022. P. 837–840.
44. Dyvak M., Melnyk A., Kopnický M., Dostalek L., Krytskyi I., Dyvak A. Using an ontological approach for improvement of the interval model in the problem of the recurrent laryngeal nerve identification during thyroid surgery. *CEUR-WS*. 2021. Vol. 3038. P. 317-322.
45. Dyvak M., Melnyk A., Kovbasisty A., Shevchuk R., Huhul O., Tymchyshyn V. Mathematical modeling of the estimation process of functioning efficiency level of information web-resources. *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Deggendorf, Germany. 2020. P. 492–496.

46. Dyvak M., Melnyk A., Martsenyuk Y., Rohatynska N., Brukhanskyi R., Pytel S. Evolutionary method based on artificial bee colony and ontological approach for structural identification of interval discrete models of objects with distributed parameters. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Spisska Kapitula, Slovakia. 2022. P. 95–100.
47. Dyvak M., Melnyk A., Mazepa S., Stetsko M. An ontological approach to detecting irrelevant and unreliable information on web-resources and social networks. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2022. Vol. 831. P. 481–492.
48. Dyvak M., Melnyk A., Pukas A., Dostalek L. Control of mathematical modeling process of dynamics of harmful substances concentrations on the basis of ontological approach. *Computational Problems of Electrical Engineering*. 2022. Vol. 12, Issue 1, P. 7–16.
49. Dyvak M., Melnyk A., Rot A., Hernes M., Pukas A. Ontology of mathematical modeling based on interval data. *Complexity*. 2022. Vol. 2022. Article Id: 8062969. P. 1–19.
50. Dyvak M., Papa O., Melnyk A., Pukas A., Porplytsya N., Rot A. Interval model of the efficiency of the functioning of information web resources for services on ecological expertise. *Mathematics*. 2020. Vol.8, Issue 2116. P. 1–12.
51. Dyvak M., Porplytsya N. Formation and identification of a model for recurrent laryngeal nerve localization during the surgery on neck organs. *Advances in Intelligent Systems and Computing III. CSIT 2018*, Cham: Springer. 2019. Vol.871. P. 391-404.
52. Dyvak M., Porplytsya N., Borivets I. and Shynkaryk M. Improving the computational implementation of the parametric identification method for interval discrete dynamic models. *2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2017. P. 533-536.
53. Dyvak M., Porplytsya N., Maslyiak Y. Modified method of structural identification of interval discrete models of atmospheric pollution by harmful emissions from motor vehicles. In: Shakhovska N., Medykovskyy M.O. (eds)

Advances in Intelligent Systems and Computing IV. CSIT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1080. Springer, Cham.

54. Dyvak M., Porplytsya N., Maslyiak Y., Kasatkina N. Modified artificial bee colony algorithm for structure identification of models of objects with distributed parameters and control. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM): Proceedings of the 2017 14th International Conference*. Lviv, Ukraine. 21–25 February 2017. P. 50–54.

55. Dyvak M., Porplytsya N., Maslyiak Y., Pukas A., Melnyk A. Method of identification of models of objects with distributed parameters with a spatially distributed control based on interval data analysis. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2017. Issue 2. P. 150–159.

56. Dyvak M., Pukas A. Criterion of design of experiments for tasks of decision support interval model creation. *2005 IEEE Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings*. Sofia, Bulgaria. 5–7 September 2005. P. 495–497.

57. Dyvak M., Pukas A., Melnyk A., Klos-Witkowska A., Karpinski M. Mathematical model in task of recurrent laryngeal nerve identification by electrophysiological method. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*. 2017. Issue 12. P. 266–270.

58. Dyvak M., Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Valchyshyn S., Romanets I. Software architecture for modeling the interval static and dynamic objects. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 572–575.

59. Dyvak M., Pukas A., Oliynyk I., Melnyk A. Selection the “saturated” block from interval system of linear algebraic equations for recurrent laryngeal nerve identification. *2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP): Proceedings of the Conference*. Lviv–Novoiavorivsk, Ukraine. August 21–25, 2018. P. 444–448.

60. Dyvak M., Roth A., Pasichnyk R., Tymchyshyn V., Hulyiyev N., Maslyiak Y. Monitoring and mathematical modeling of soil and groundwater

contamination by harmful emissions of nitrogen dioxide from motor vehicles. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, 2768. P.1–15.

61. Dyvak M., Stakhiv P., Pukas A. Design of sequential experiment for creating of interval model for ecological monitoring systems. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings of the IV International Workshop*. Dortmund, Germany. 2007. P. 286–289.

62. Ebrahimipour V., Yacout S. Ontology-based knowledge platform to support equipment health in plant operations. In: Ebrahimipour, V., Yacout, S. (eds). *Ontology Modeling in Physical Asset Integrity Management*. Springer, Cham., 2015.

63. Faiz R., Edirisinghe E. Decision making for predictive maintenance in asset information management. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge and Management*. 2009. Vol.4. P. 23-36.

64. Falbo R., Natali A., Mian P., Bertollo G., Ruy F. B. ODE: ontology-based software development environment. *Computer Science*. 2003. P.1124-1135.

65. Farlow S. The GMDH algorithm of Ivakhnenko. *American Statistician - AMER STATIST*. 1981. Vol.35. P. 210–215.

66. Ferro M., Paciello V., Pietrosanto A., Sommella P. A distributed measurement system for the estimation of air quality. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*. 2020. Vol.23, Issue 5. P.51–56.

67. Ganji M.D., Rahmanzadeh A. Chapter 6 – Mathematical modeling and simulation. In *Smart Nanocontainers*; Nguyen-Tri, P., Do, T.-O., Nguyen, T.A., Eds.; Micro and Nano Technologies. Elsevier: Amsterdam, Netherlands. 2020. P. 89–102.

68. Gorgorió N., Albarracín L., Ärlebäck J., Laine A., Newton R., Villarreal A. Fundamental mathematical knowledge: progressing its specification. Linköping: Linköping University Electronic Press; 2019. (LiTH-MAT-R). URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-157096> (date of access: 10.11.2022).

69. Gosling J., Joy B., Steele G., Bracha G. Java(TM) language specification. The 3rd Ed. Addison-Wesley Professional. 2005.

70. Gray P. Group decision support systems. *Decision Support Systems*. Sep. 1987. Vol. 3. Issue 3. P.233-242
71. Grenon P., Smith B. Foundations of an ontology of philosophy. *Synthese*. 2011. Vol. 182. P. 185-204.
72. Hill H., Blunk M., Charalambous C., Lewis J., Phelps G., Sleep L., Ball D. Mathematical knowledge for teaching and the mathematical quality of instruction: An exploratory study. *Cognition and Instruction*. 2008. Vol. 26 (4). P. 430-511.
73. Holubiev V., Voytyuk I., Pukas A., Simashko V., Shpak Y., Snihur K. Implementing cloud technologies to optimize customer contact centers operation. *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2019)*. Ceske Budejovice, Czech Republic. 2019. P. 308–311.
74. Husáková M., Bureš V. Formal ontologies in information systems development: a systematic review. *Information*. 2020. Vol. 11, no. 2. P. 66.
75. Itziar U., Nieto M., García M., Otaegui O. Design and implementation of an ontology for semantic labeling and testing: automotive global ontology (AGO). *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, no. 17. 7782.
76. Ivakhnenko A. Polynomial theory of complex systems. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*. 1971. Vol. 4. P. 364-378.
77. Ivakhnenko A. The group method of data handling in long-range forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*. 1978. Vol.12. P. 213-227.
78. Ivakhnenko A., Ivakhnenko G. The review of problems solvable by algorithms of the group method of data handling (GMDH). *Pattern Recognition and Image Analysis*. 1995. Vol.5 (4). P. 527–535.
79. Ivakhnenko A., Lapa V. Cybernetics and forecasting techniques. *Modern Analytic and Computational Methods in Science and Mathematics*. 1967. V.8 ed. American Elsevier.

80. Ivakhnenko O. Recent developments of self-organizing modeling in prediction and analysis of stock market. *Microelectronics Reliability journal*. 1997. Vol. 37. P. 1053–1072.
81. Ivanov A. Mathematical models for basic functioning processes of an information web portal. *Sist. Sredstva Inform.* 2010. Vol. 20. P. 106–132.
82. Jinzhi L., Ma J., Zheng X., Wang G., Kiritsis D. Design ontology supporting model-based systems-engineering formalisms. *Journal of Latex Class Files*. Vol. 14. No. 8, August 2015.
83. Juan S. et al. An Industrial air pollution dispersion system based on Gauss dispersion model. *Environmental Pollution & Control*. 2005. Vol. 7. P.11.
84. Juneau J. *Java 9 Recipes: A Problem-solution approach* 2017. 3rd. ed. Apress, USA.
85. Kaivonen S., Ngai E. Real-time air pollution monitoring with sensors on city buses. *Digital Communications and Networks*. 2019. P.23-30.
86. Kalajdjieski J., Korunoski M., Stojkoska BR., K. Trivodaliev. Smart city air pollution monitoring and prediction: a case study of Skopje. *International Conference on ICT Innovations*. 2020. P. 15-27.
87. Kalajdjieski J., Stojkoska BR., Trivodaliev K. IoT based framework for air pollution monitoring in smart cities. *2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR)*. 2020. P. 1-4.
88. Karaboga D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical Report-TR06. Erciyes University: Kayseri, Turkey. 2005.
89. Karaboga D., Gorkemli B., Ozturk C., Karaboga N. A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications. *Artificial Intelligence Review*. 2014. Vol. 42, no. 1. P. 21-57.
90. Karaboga D., Kaya E. Estimation of number of foreign visitors with ANFIS by using ABC algorithm. *Soft Comput.* 2019. Vol.24. P.7579–7591.
91. Kasianchuk M., Yakymenko I., Pazdriy I., Melnyk A., Ivasiev S. Rabin's modified method of encryption using various forms of system of residual classes. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in*

Microelectronics: Proceedings of the XIV International Conference CADSM'2017. Polyana–Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”. 2017. P. 222–224.

92. Katoch S., Chauhan SS., Kumar V. A review on genetic algorithms: past, present, and future. *Multimed Tools Appl.* 2021. Vol. 80, P.8091–8126.

93. Kedrin Y., Dyvak M., Pukas A., Voytyuk I., Maslyiak Y., Papa O. Features of artificial bee colony based algorithm realization for parametric identification method of the interval discrete dynamic models. *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Deggendorf Germany. 2020. P. 239–245.

94. Kelley W.G., Peterson A.C. *Difference equations: an introduction with applications*. Academic press. 2001.

95. Kim HY., Chai YJ., Barczynski M., Makay O., Wu CW., Rizzo AG., Bartolo V., Sun H., Dionigi G. Neural monitoring society (kinmos) technical instructions for continuous intraoperative neural monitoring in thyroid surgery. *J Endocr Surg.* 2018 Mar. Vol.18, P. 61-78.

96. Kohn T., Rossum G., Bucher II G., Talin, Levkivskyi I. Dynamic pattern matching with Python. *16th ACM SIGPLAN International Symposium on Dynamic Languages (DLS 2020)*. Proceedings of the Symposium. Association for Computing Machinery. New York, NY, USA. 2020. P. 85–98.

97. Korunoski M., Stojkoska B., Trivodaliev K. Internet of things solution for intelligent air pollution prediction and visualization. *IEEE EUROCON 2019–18th International Conference on Smart Technologies*. 2019. P. 1-6.

98. Kovbasisty A., Melnyk A., Dyvak M., Brych V., Spivak I. Method for detection of non-relevant and wrong information based on content analysis of web resources. *Perspective Technologies and Methods in MEMS Design: Proceedings of the XIII-th International Conference ‘MEMSTECH’2017’*. Lviv–Polyana: Lviv Polytechnic National University. 2017. P. 154–156.

99. Krepych S., Spivak, I. Model of human weight correction based on interval data analysis. *International Journal of Computing*. 2020. Vol. 19(1). P. 128-136.
100. Kuik, S.; Diong, L. Building Model-Driven Decision Support System in Product Redesign Plan. *Designs* 2019, P. 1-13.
101. Kulik B. A logic programming system based on cortege algebra. *Journal of Computer & System Sciences International*. 1995. P. 159-170.
102. Kulik B., Fridman A. N-Tuple algebra as a generalized theory of relations. 2021.
103. Kulik B., Fridman A. N-Tuple algebra as a unifying system to process data and knowledge. 2019.
104. Kumar Praveen, Dr. kavita. Data Warehouse Concept and Its Usage. *University Research Resource Journal Jayoti Vidyapeeth Women's University*. 2019. Vol. 2, Issue P. 08-14.
105. Lange C. Ontologies and languages for representing mathematical knowledge on the Semantic Web. *Semant. Web* 4. 2013. Vol. 2, P. 119–158.
106. Lange C., Kohlhase M. A Semantic Wiki for mathematical knowledge management. *Emerging Technologies for Semantic Work Environments: Techniques, Methods, and Applications*. Edited by Rech, Jörg and Björn Decker, and Eric Ras. Hershey, PA: IGI Global. 2008. P. 47-68.
107. Lee J.W., Son S.H., Kwon S.H. Advanced mountain clustering method. *Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference*. 2001. Vol. 1. P. 275-280.
108. Lemass B. *Structured Conceptual Design: The New Frontier*. Sydney: Pearson Prentice Hall. 2004. 134 p.
109. Lendyuk T., Melnyk A., Rippa S., Golyash I., Shandruk S. Individual learning path building on knowledge-based approach. *2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2015*. Warsaw, Poland. September 24–26, 2015. P. 949–954.

110. Leydesdorff L. Synergy in Knowledge-Based Innovation Systems at National and Regional Levels: The Triple-Helix Model and the Fourth Industrial Revolution. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2018. P. 1-13.
111. Lytvyn V., Vysotska V., Shatskykh V., Kohut I., Petruchenko O., Dzyubyk L., Bobrivets V., Panasyuk V., Sachenko S., Komar M. Design of a recommendation system based on collaborative filtering and machine learning considering personal needs of the user. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol.4 (2 (100)). P.6-28.
112. Madala H., Ivakhnenko A. Inductive learning algorithms for complex systems modeling. Boca Raton: CRC Press. 1994.
113. Mahjourian, R. An Architectural Style for Data-Driven Systems. High Confidence Software Reuse in Large Systems. 2008. Vol.5030. P. 14–25.
114. Manhas D. A study of factors affecting websites page loading speed for efficient web performance. *Int. J. Comput. Sci. Eng.* 2013. Vol. 1. P.32–35.
115. Mathematical knowledge management: *2nd International Conference MKM 2003*, Bertorino, Italy: Proceedings. Asperti, A.; Buchberger, B.; Davenport, James H. Berlin: Springer, 2003. (Lecture Notes in Computer Science; Vol. 2594).
116. Mazepa S., Banakh S., Melnyk A., Pugach S., Yavorska O., Golota N. An ontological approach to detecting fake news in online media. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 531–535.
117. McNeil M.W. Matching possible mitigations to cyber threats: a document-driven decision support systems approach. *Masters Theses & Doctoral Dissertations*. 2019. 330p.
118. Meghea I., Mihai M., Demeter T. Gauss dispersion model applied to multiple punctual sources from an industrial platform. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & Mining Ecology Management*. 2013. Vol. 1. P. 497.

119. Melnyk A., Huhul O., Shevchuk R., Shcherbiak I., Martsenyuk Y., Kovbasisty A. Intelligent system of analyzing the structure of web-resources. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 560–563.

120. Melnyk A., Pasichnyk R. System of semantic classes for test's generation. *2010 International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*. 2010. P. 206–206.

121. Melnyk A., Shevchuk R., Huhul O., Shcherbiak I., Shevchuk A., Franko Y. Software architecture for mathematical modelling based on interval and ontology approach. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Spisska Kapitula, Slovakia. 2022. P. 101–105.

122. Melnyk A., Shpintal M., Spilchuk V., Susla M. Method for evaluating the efficiency of systems for distance education. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. Proceedings of the XIIIth International Conference TCSET'2016. Lviv–Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2016. P. 855–857.

123. Milanese M., Norton J., Piet-Lahanier H., Walter E. Bounded approaches to system identification. New-York, London: Plenum Press. 1996. 357 p.

124. Ministry of environmental protection and natural resources of Ukraine. Available online: <https://mepr.gov.ua> (date of access: 20 July 2022).

125. Mir Sajjad Hussain Talpur, Hina Shafi Chandio, Sher Muhammad Chandio, Hira Sajjad Talpur. Knowledge Warehouse Framework. *International Journal of Engineering Innovation & Research*. 2012. Vol. 1(3). P. 262-270.

126. Miskell G., Salmond JA., Williams D E. Use of a handheld low-cost sensor to explore the effect of urban design features on local-scale spatial and temporal air quality variability. *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 619. P.480-490.

127. Mitran D. Decision support systems to create a competitive advantage. *Internal Auditing & Risk Management*. 2019. Vol. 55(3). P.76–82.
128. Mohemad R., Hamdan A.R., Othman Z.A., Noor N.M.M. Decision Support Systems (dss) in Construction Tendering Processes. *International Journal of Computer Science Issues*. Apr. 2010. Vol. 7(2). P.35–45.
129. Moore R.E. Interval analysis. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1966. 145 p.
130. Moore R.E. Methods and applications of interval analysis. Philadelphia: SIAM. 1979. 190 p.
131. Moore R.E. Reliability in computing: the role of interval methods in scientific computing. Elsevier. 2014.
132. Moreno Torres B., Völker C., Nagel S.M., Hanke T., Kruschwitz S. An ontology-based approach to enable data-driven research in the field of NDT in civil engineering. *Remote Sens*. 2021. Vol. 13, 2426.
133. Musen M. The protégé project. *AI Matters*. 2015. Vol. 1, P. 4-12.
134. Nambiar, Athira, Divyansh Mundra. An Overview of Data Warehouse and Data Lake in Modern Enterprise Data Management. *Big Data and Cognitive Computing*. 2022. Vol.6(4). P. 132.
135. Nemati, H.R., D. Steiger, L.S. Iyer, and R.T. Herschel. (2002). Knowledge Warehouse: An Architectural Integration of Knowledge Management, Decision Support, Artificial Intelligence and Data Warehousing. *Decision Support Systems*, 2002. Vol. 33 (2). P. 143-161.
136. Nørregaard J., Horne BD., Adalı S. NELA-GT-2018: A large multi-labelled news dataset for the study of misinformation in news articles. *International AAAI Conference on Web and Social Media*. 2018. Vol. 13. P.630–638.
137. Ocheretnyuk N., Dyvak M., Dyvak T., Voytyuk I. Structure identification of interval difference operator for control the production process of drywall. *12th Int. Conf. on Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*. 2013. P. 262-264.

138. Ocheretnyuk N., Voytyuk I., Dyvak M., Martsenyuk Y. Features of structure identification the macromodels for nonstationary fields of air pollutions from vehicles. *International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. 2012. P. 444.
139. Oshikawa R., Qian J., Wang WY. A survey on natural language processing for fake news detection. ArXiv abs/1811.00770, 2020.
140. Oyjinda P., Pochai N. Numerical simulation of air pollution emission control near an industrial zone. *Advances in Mathematical Physics*. 2017. P.7.
141. Oyjinda P., Pochai N. Numerical simulation of an air pollution model on industrial areas by considering the influence of multiple point sources. *Int. J. Differ. Equi.* 2019. P. 1-10.
142. Pasichnyk N., Dyvak M., Pasichnyk R. Mathematical modeling of the Website quality characteristics in dynamics. *Journal of Applied Computer Science*. Technical University Press – Lodz, Poland. 2014. V. 22. № 1. P. 171-183.
143. Pasichnyk N., Melnyk A., Dobrovolska N. Management the website attendance based on the projected traffic. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XII International Conference CADSM'2013*. Polyana–Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”. 2013. P. 277.
144. Pasichnyk P., Pasichnyk N, Melnyk A., Strubycka I. Concept model of resources accumulation and operational management in biotechnology, biomedical and Web information systems. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XIII International Conference CADSM'2015*. Polyana–Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”, 2015. P. 152–155.
145. Pasichnyk R., Melnyk A. Modeling of cognitive processes for bio-technical systems. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. Proceedings of the International Conference (TCSET'2008). Lviv-Slavsko, Ukraine. 2008. P. 27–28.

146. Pasichnyk R., Melnyk A. Modeling of effective studies in adaptive educational systems. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*. Proceedings of the International Conference. CADSM'2009. Lviv-Polyana, Ukraine. 2009. P. 248–250.

147. Pasichnyk R., Melnyk A., Bilous I., Duma L., Pushkar B., Monko R. Historical training game model with mathematical and information aspects. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Spisska Kapitula, Slovakia. 2022. P. 84–88.

148. Pasichnyk R., Susla M., Pasichnyk N., Melnyk A. Model of pollution on the local section of an urban highway and its identification method. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science: Proceedings of the XIVth International Conference (TCSET'2018)*. Lviv–Slavske: Lviv Polytechnic National University. 2018. P. 864–867.

149. Pasquill F. Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling: [part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values]. EPA-600/4-76-030b, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711. 1976. P. 237.

150. Patel J. Relational databases and SQL language. 2020.

151. Pavlov A., Pidnebesna H., Stepashko V. Ontology-based approach to construction of intelligent interface for inductive modeling tools. *2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2020. P.26-29.

152. Petrowski A. and Ben-Hamida S. Evolutionary algorithms (computer engineering: metaheuristics book 9). 1st edition. Wiley-ISTE, 2017. 305 p.

153. Piccin O., Cavicchi O. Recurrent laryngeal nerve identification in thyroidectomy by intra-operative staining with methylene blue in 46 patients. *Clinical Otolaryngology*. 2016. Vol. 41. P.101–102.

154. Pidnebesna H. On constructing ontology of the GMDH-based inductive modeling domain. *2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2017. P. 511-513.

155. Pidnebesna H., Stepashko V. Ontology-based design of inductive modeling tools. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. 2021. P. 731-734.
156. Pigazzi R., Confalonieri C., Rossoni M., Gariboldi E., Colombo G. Ontologies as a tool for design and material engineers. *ASME 2020 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 2020. Volume 6: Design, Systems, and Complexity. Virtual, Online.
157. Pileggi, Salvatore F., Amor . Addressing Semantic Geographic Information Systems. *Future Internet*. 2013. Vol.5(4). P. 585-590.
158. Polyanin A, Zaitsev V. Handbook of ordinary differential equations: exact solutions, methods and problems. CRC Press, 2017. 1496 p.
159. Porplytsya N., Dyvak M. Interval difference operator for the task of identification recurrent laryngeal nerve. *16th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE'2015)*. 2015. P. 156-158.
160. Porplytsya N., Dyvak M., Spivak I., Voytyuk I. Mathematical and algorithmic foundations for implementation of the method for structure identification of interval difference operator based on functioning of bee colony. *13th Int. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*. 2015. P. 196-199.
161. Poveda M.C.D., Dionigi G., Sitges-Serra A., Barczynski M., Angelos P., Dralle H., Phelan E., Randolph G. Intraoperative monitoring of the recurrent laryngeal nerve during thyroidectomy: a standardized approach (Part 2). *World Journal of Endocrine Surgery*. 2012. Vol. 4, no. 1. P. 33-40.
162. Power D. J., Phillips-Wren G. The impact of Social Media and Web 2.0 on Decision Making. *Journal of Decision Systems*. 2011. Vol 20(3). P.249-261.
163. Power D., Sharda R. Model-driven decision support systems: Concepts and research directions. *Decision Support Systems*, Vol. 43, Issue 3, 2007. P. 1044-1061.
164. Power D.J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. *AMCIS 2000 Proceedings*. 2010. P.387.

165. Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Smal V., Fenovka V., Pylypiuk T. Implementation of service-oriented architecture for static and dynamic objects interval modeling software. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 568–571.
166. Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Yushko A., Romanyuk M., Honchar L. Transactional business application based on microservice architecture. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 564–567.
167. Quinn M.J., Malishevsky A., Seelam N., Zhao Y. Preliminary results from a parallel MATLAB compiler. *The First Merged International Parallel Processing Symposium and Symposium on Parallel and Distributed Processing*. Orlando. 1998. P. 81-87.
168. Rai et al. End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring. *STOTEN*. 2017. Vol. 607-608. P. 691-705.
169. Rastrigin L.A. Adaptation of complex systems. Zinatne: Riga, Latvia. 1981. 375 p.
170. Riley J.R., Greggers U., Smith A.D., Reynolds D.R., Menzel R. The flight paths of honeybees recruited by the waggle dance. *NATURE: International weekly journal of science*. 2005. Vol. 435. P. 205-207.
171. Rittle-Johnson B. Developing mathematics knowledge. *Child Development Perspectives*. 2017. Vol. 11, Iss. 3. P. 184-190.
172. Rohn J. Input-output model with interval data. *Econometrica*. 1980. Vol. 48. P. 767-769.
173. Roldan-Molina G.R., Mendez J.R., Yevseyeva I., Basto-Fernandes V. Ontology fixing by using software engineering. technology. *Appl. Sci*. 2020. Vol.10. 6328.
174. Rossum G. Python reference manual. Technical Report. CWI (Centre for Mathematics and Computer Science). NLD. 1995.

175. Saenz D. Advanced Java programming (Java SE 7). Virtual Training Company. 2013.
176. Sattar A., Salwana E., Surin M., Ahmad M., Mahmood A. Comparative analysis of methodologies for domain ontology development: a systematic review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*. 2020. Vol. 11(5).
177. Savinykh V., Maiorov A., Materukhin A. Spatial modeling of air pollution based on data streams from geosensor networks. *Geodesy and Cartography*. 2017. Vol. 78, no. 12. P. 39-43.
178. Schneider T., Šimkus M. Ontologies and data management: a brief survey. *Künstl Intell*, 2020. Vol. 34. P. 329–353.
179. Schweppe F.C. Recursive state estimation: unknown but bounded error and system inputs. *IEEE Trans. Automat. Control*. 1968. Vol 1. P. 22–28.
180. Shary S.P. Algebraic approach to the interval linear static identification, tolerance, and control problems, or one more application of Kaucher Arithmetic. *Reliable Computing*. 1996. 2(1). P. 3-33.
181. Shary S.P. Solving the linear interval tolerance problem. *Mathematics and Computer in Simulation*. 1995. Vol. 39. P. 53-85.
182. Shevchuk R., Kohut I., Chopyk P., Madiudia I., Melnyk A. Cyber-physical integrated transport and warehouse logistics system for courier delivery service. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 652–656.
183. Shevchuk R., Melnyk A., Opalko O., Shevchuk H. Software for automatic estimating security settings of social media accounts. *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Deggendorf, Germany. 2020. P. 769–773.
184. Shevchuk R., Tykhiy R., Melnyk A., Karpinski M., Owedyk Y., Yurchyshyn T. Cyber-physical system for dynamic annotating real-world objects using augmented reality. *2022 12th International Conference on Advanced*

Computer Information Technologies (ACIT). Spisska Kapitula, Slovakia. 2022. P. 392–395.

185. Shiang Y.-L., Wang J.-C., Sun C.-H., Wen T.-H., Juang J.-Y., Jiang J.-A. Mobile measurement of particulate matter concentrations on urban streets: system development and field verification. *IEEE Access*. 2020. P. 197617-197629.

186. Silva Y., Almeida I., Queiroz M. SQL: from traditional databases to big data. *47th ACM Technical Symposium on Computing Science Education*. Proceedings of the Conference. Association for Computing Machinery: New York, NY, USA. 2016. P. 413–418.

187. Skalicky S., Lopez S., Lukowiak M., Schmidt A. A parallelizing Matlab Compiler Framework and run time for heterogeneous systems. *IEEE 17th International Conference on High Performance Computing and Communications, IEEE 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security, IEEE 12th International Conference on Embedded Software and Systems*. New York. 2015. P. 232-237.

188. Slavičková M. Implementation of digital technologies into pre-service mathematics teacher preparation. *Mathematics*. 2021. Vol. 9. 1319.

189. Slowik A. *Swarm Intelligence Algorithms: modification and applications*. 1st edition. CRC Press. 2020. 378 p.

190. Stepashko V., Moroz O. Hybrid searching GMDH-GA algorithm for solving inductive modeling task. *First Int. Conf. on Data Stream Mining & Processing (DSMP'2016)*. Proceedings of the Conference. 2016. P.350-355.

191. Suda E., Iba H. Neural architecture search and weight adjustment by means of ant colony optimization. *5th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS 2020)*. 2020. P. 184-191.

192. Suresh P., Hsu S.-H., Akkisetty P., Reklaitis G., Venkatasubramanian V. OntoMODEL: ontological mathematical modeling knowledge management in pharmaceutical product development, 1: Conceptual framework. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2010. Vol. 49. P. 7768-7781.

193. Suresh P., Joglekar G., Hsu SH., Akkisetty P., Hailemariam L., Jain A., Reklaitis G., Venkatasubramanian V. Onto MODEL: Ontological mathematical modeling knowledge management. *Computer-aided chemical engineering*. 2008. Vol. 25. P. 985-990.
194. Suresh S.S, Naidu M.M. , Asha Kiran. S. An XML Based Knowledge-Driven Decision Support System For Design Pattern Selection. *International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET)*, 2012. Vol. 1(3) P. 1-13.
195. Susla M., Pasichnyk R., Melnyk A., Pasichnyk N., Vasylykiv O., Androshchuk O. Formalization of scientific researches results in corporate knowledge bases as a tool of their accumulation. *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Deggendorf, Germany. 2020. P. 488–491.
196. Susla M., Pasichnyk R., Pasichnyk N., Melnyk A. Adjustment of the model of the agent-determinant type in the forecasting of pollution on the section of the city road. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2300. P. 38-41.
197. Susla M., Pasichnyk R., Pasichnyk N., Melnyk A., Shcherbiak I., Akimjak A. Principles of building a mathematical model for the influence of mineral fertilizers on grain yield. *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2019)*. Ceske Budejovice, Czech Republic. 2019. P. 145–148.
198. Tardío, Roberto, Alejandro Maté, Juan Trujillo. A New Big Data Benchmark for OLAP Cube Design Using Data Pre-Aggregation Techniques. *Applied Sciences*. 2020. Vol.10, Issue 8674. P. 1–18.
199. Ting I., Wu H. Web Mining Techniques for On-Line Social Networks Analysis: An Overview. *Web Mining Applications in E-commerce and E-services*. Vol.172. P.169–179.
200. Tong H. Non-Linear Time Series: A dynamical system approach. Clarendon Press: New York, NY, USA. Oxford University Press: Oxford, UK. 1990.

201. Trivedi R., Sisman B., Dong X., Faloutsos C., Ma J., Zha H. LinkNBed: Multi-graph representation learning with entity linkage. *56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*. Proceedings of the Meeting. 2018. P. 252-262.
202. Trokanas N., Cecelja F. Ontology evaluation for reuse in the domain of Process Systems Engineering. *Comput. Chem. Eng.* 2016. Vol. 85. P. 177-187.
203. Tu SW., Eriksson H., Gennari JH., Shahar Y., Musen MA. Ontology-based configuration of problem-solving methods and generation of knowledge-acquisition tools: application of PROTEGE-II to protocol-based decision support. *Artif. Intell. Med.* 1995. Vol. 7(3). P. 257-289.
204. Turban E., Aronson J. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. New Delhi, India: Prentice Hall. 2001. 936 p.
205. Tymchyshyn V., Porplytsya N., Melnyk A., Tymchyshyn B. Software for modelling the air pollution by vehicles. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2300. P. 207-210.
206. Urmanchev V.I. *Difference equations*. Kyiv. 2018. 44 p.
207. Vasant D. *Intelligent decision support methods: the science of knowledge work* / D. Vasant, S. Roger. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997. – 244 p.
208. Velasco, R. Ferrero, F. Gandino et al. On the design of distributed air quality monitoring systems. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC. 2015. Vol. 1702, No. 1. P. 180014.
209. Vilone G., Longo L. *Explainable artificial intelligence: a systematic review*. 2020.
210. Vo N., Lee K. The Rise of Guardians: Fact-checking URL recommendation to combat fake news. *The 41st International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval (SIGIR'18)*. Association for Computing Machinery. New York, NY, USA. 2018. P. 275–284.
211. Wang C. Relation extraction. *Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Proceedings of the International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization. P. 5401–5407.

212. Wendelberg L. An ontological framework to facilitate early detection of ‘radicalization’ (OFEDR) – A Three World Perspective. *J. Imaging*. 2021. Vol. 7, P. 60.
213. Wu F., Rudiger C. Yuce MR. Design and field test of an autonomous IoT WSN platform for environmental monitoring. *27th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC)*. 2017. P. 1-6.
214. Wu F., Rüdiger C, Redouté JM., Yuce MR. Live demonstration: an IoT platform for environmental monitoring using self-powered sensors. *IEEE Sensors*. 2018.
215. Yacci M. The Knowledge Warehouse: Reusing Knowledge Components. *Performance Improvement Quarterly*. 2008. Vol. 12(3) P. 132-140.
216. Yakymenko I., Kasianchuk M., Ivasiev S., Melnyk A., Nykolaichuk Y. Realization of RSA cryptographic algorithm based on vector-module method of modular exponentiation. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. Proceedings of the XIVth International Conference TCSET’2018. Lviv. Slavske: Lviv Polytechnic National University. 2018. P. 550–554.
217. Yang L., Cormican K., Yu M. Ontology learning for systems engineering body of knowledge. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2021. Vol. 17. P. 1039-1047.
218. Ye J., Skiena S. MediaRank: computational ranking of online news sources. 2019. P. 2469-2477.
219. Yehia S., Abudayyeh O., Fazal I., Randolph D. A decision support system for concrete bridge deck maintenance. *Advances in Engineering Software*. Mar. 2008. Vol. 39(3). P. 202-210.
220. Yu B., Zhang Z., Liu T., Wang B., Li S., Li Q. Beyond word attention: using segment attention in neural relation extraction. *IJCAI*. 2019.
221. Zhou X., Zafarani R. A survey of fake news: fundamental theories, detection methods, and opportunities. *ACM Comput. Surv.* 2020. Vol. 53, Iss. 5, Article 109. 40 p.

222. Zoeteman A. A life cycle costing based approach to design and maintenance of railway infrastructure. *Journal on Transport and Infrastructure Research*. 2001. Vol. 4(1). P. 391-413.
223. Громова О.В. Аналіз моделей поширення речовин в атмосфері від стаціонарних джерел. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2004. № 253. С. 173-181.
224. Дивак М.П. Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними: монографія. Тернопіль: Економ. думка ТНЕУ. 2011. 215 с.
225. Дивак М.П., Манжула В.І., Мельник А.М., Пукас А.В. Метод структурної ідентифікації нелінійних інтервальних моделей статичних об'єктів. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2022. Том. 54. №2. С. 103–114.
226. Дивак М.П., Манжула В.І., Мельник А.М., Тимчишин В.С. Система моніторингу забруднення повітря автотранспортом на базі автономного аеромобільного вимірювального комплексу. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2021. Том 42. №2. С. 73–84.
227. Дивак М.П., Мельник А.М., Кедрін Є.С., Франк О. Інтервальна модель портрету користувачів тематичної групи з проблем екології у соціальній мережі. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2021. Том 41. №1. С. 78–88.
228. Дивак М.П., Мельник А.М., Ковбасистий А.В., Папа О.А. Підхід до математичного моделювання ефективності web-ресурсів. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2020. Том. 38. №2. С. 29–37.
229. Дивак М.П., Мельник А.М., Папа О.А. Математичне та програмне забезпечення інтелектуального модуля прикладних програмних систем для надання адміністративних послуг щодо проведення екологічної експертизи. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2020. Том. 49. №3. С. 66–76.

230. Дивак М.П., Порплиця Н.П., Дивак Т.М. Ідентифікація дискретних моделей систем з розподіленими параметрами на основі аналізу інтервальних даних: монографія. Тернопіль: Економічна думка ТНЕУ. 2018. 220 с.

231. Дивак М.П., Пукас А.В., Порплиця Н.П., Мельник А.М. Прикладні задачі структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів: монографія. Тернопіль: Університетська думка. 2021. 212 с.

232. Жидик М., Мельник А., Шпак В., Ковбасистий А. Комп'ютерна мережа для моделі "розумного будинку". *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю АСІТ'2017. Тернопіль: ТНЕУ. 2017. С. 34.

233. Клименко М., Прищепа А., Вознюк Н. Моніторинг довкілля: Підручник. К.: Академвидав. 2006. 359 с.

234. Ковалюк Д.О., Москвіна С.М. Моделювання теплотехнологічних об'єктів з розподіленими параметрами: моногр. Вінниця: ВНТУ. 2010. 182 с.

235. Колодчак О.М. Інтелектуальний аналіз даних. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі*. 2013. № 773. С. 49-58.

236. Мельник А., Гарах О. Метод синхронізації баз даних за допомогою хеш-функцій на основі нелінійного розбиття таблиць. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали II Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2012. Тернопіль: ТНЕУ. 2012. С. 183.

237. Мельник А., Кравець М. Автоматизована система для оцінки вартості та обліку приєднання споживачів до електричних мереж. *Комп'ютерні інформаційні технології*: матеріали школи–семінару молодих вчених і студентів СІТ'2019. 29 листопада 2019. Тернопіль: ТНЕУ. 2019. С. 23.

238. Мельник А., Лабик Д. Метод "прозорі журналізації" для організації процесу тестування web-орієнтованих інформаційних систем. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали V Всеукраїнської

школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2015. Тернопіль: ТНЕУ. 2015. С. 139–141.

239. Мельник А., Лавор М., Романюк М., Тимчишин В. Математичне та програмне забезпечення пошуку клонів коду на основі семантичних методів. *Комп'ютерні інформаційні технології*: матеріали школи–семінару молодих вчених і студентів СІТ'2020. 30 листопада 2020. Тернопіль: ТНЕУ. 2020. С. 44–45.

240. Мельник А., Миць О. Підвищення ефективності пошуку документів в інтернет із врахуванням подібності веб-сторінок. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали III Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2013. Тернопіль: ТНЕУ. 2013. С. 212.

241. Мельник А., Панченко О. Модель онтології предметної області. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали III Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2013. Тернопіль: ТНЕУ. 2013. С. 213.

242. Мельник А., Пик І. Застосування генетичного алгоритму для оцінки ризиків проекту. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали VI Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2016. Тернопіль: ТНЕУ. 2016. С. 135–137.

243. Мельник А., Посуляк Р., Буца В. Інформаційна технологія ризик-орієнтованого оцінювання функціональності web-орієнтованих систем. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали V Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2015. Тернопіль: ТНЕУ. 2015. С. 142–144.

244. Мельник А., Проць С. Моделюючий алгоритм для оцінки надійності складних багатофункціональних технічних систем. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали VI Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2016. Тернопіль: ТНЕУ. 2016. С. 28–30.

245. Мельник А., Сіткар Т. Формування фахових знань за допомогою інтелектуальної навчальної системи. *Інформаційне суспільство: стан і перспективи розвитку у світлі регіональних особливостей*: матеріали між нар. наук.-практ. конференції. 11-14 жовтня 2012. Краків-Жешів-Львів-Тернопіль. Тернопіль: ТІСІТ. 2012. С. 30-31.

246. Мельник А., Співак І., Сирник О., Дробот І. Побудова адаптивної моделі користувача в інтерфейсах Web-орієнтованих систем. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали VI Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2016. Тернопіль: ТНЕУ. 2016. С. 137–139.

247. Мельник А., Тимчишин В., Ковбасистий А., Романюк М. Математичне та програмне забезпечення управління реплікаціями в базах даних типу NoSQL. *Комп'ютерні інформаційні технології*: матеріали школи–семінару молодих вчених і студентів СІТ'2019. 29 листопада 2019. Тернопіль: ТНЕУ. 2019. С. 24.

248. Мельник А.М. Архітектура програмного забезпечення для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2022. №3. С. 265–273.

249. Мельник А.М. Методи та засоби виявлення неактуальної та недостовірної інформації на web-ресурсах. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2020. Том 10. №3-4. С. 167–176.

250. Мельник А.М. Онтологія як програмна надбудова до системи для математичного моделювання на основі інтервальних даних. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2022. Том. 54. №2. С. 26–38.

251. Мельник А.М. Роль моделі управління процесом автоматизованого навчання в підвищенні відвідуваності веб-сайтів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2016. №3. С.15–19.

252. Мельник А.М., Дивак М.П. Метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2022. №3. С.61–72.

253. Мельник А.М., Дивак М.П., Манжула В.І. Моделювання динаміки концентрацій шкідливих викидів автотранспорту на основі поєднання методів інтервального аналізу та онтологічного підходу. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2022. №2. С.14–23.

254. Мельник А.М., Дивак М.П., Пасічник Р.М. Метод виявлення неактуальної інформації в сервісно-орієнтованих корпоративних системах на прикладі систем оцінювання якості ґрунтів. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2021. Том. 50. №1. С. 45–54.

255. Мельник А.М., Пасічник Р.М. Метод адаптивного управління структурою процесу навчання. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2011. № 1. С. 132–137.

256. Мельник А.М., Пасічник Р.М. Метод генерації тестових завдань на основі системи семантичних класів. *Вісник ТДТУ*. 2010. Том 15. № 1. С. 187-193.

257. Мельник А.М., Пасічник Р.М. Моделювання результативності навчання в інтелектуальних адаптивних навчальних системах. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2009. № 3. С. 107-117.

258. Мокін Б.І., Мокін В.Б., Мокін О.Б. Математичні методи ідентифікації динамічних систем: Навчальний посібник. Вінниця: Вінницький національний технічний університет. 2010. 263 с.

259. Попов О.О. Стохастична модель забруднення приземної атмосфери від підприємств паливної енергетики (на прикладі ТЕЦ). *Зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України*. Київ: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. 2009. № 53. С. 10-17.

260. Порплиця Н.П., Дивак М. П. Реалізація методу структурної ідентифікації інтервальних різницевих операторів на основі алгоритму

поведінки бджолоїної колонії. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2015. Вип. 4(93). С. 34-40.

261. Рогожин О.Г., Хлобистов Є.В., Яковлев Є.О. Інформаційний інструментарій оцінки екологічних ресурсів в Україні. *Математичне моделювання в економіці*. Київ. 2015. №3. С. 13-26.

262. Степашко В.С. Елементи теорії індуктивного моделювання. Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні: монографія. Кол. авторів. Київ: Наукова думка. 2010. С. 481-496.

263. Степашко В.С., Єфіменко С.М., Савченко Є.А. Комп'ютерний експеримент в індуктивному моделюванні. Київ: Наукова думка. 2014. 222 с.

264. Субботін С.О., Олійник А.О., Олійник О.О. Ітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: Монографія. Під заг. ред. С.О. Субботіна. Запоріжжя: ЗНТУ. 2009. 375 с.

265. Томашевський В.М. Моделювання систем. К: Видавнича група ВНУ. 2005. 352 с.

266. Шевчук Р.П., Мельник А. М. Мобільна кіберфізична система для динамічного відображення інформації про об'єкти на цифровій карті місцевості. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Том. 27. №4. С. 170–176.

ДОДАТОК А

ОСНОВНІ ОПЕРАЦІЇ КЛАСИЧНОЇ АЛГЕБРИ КОРТЕЖІВ

№п/п	Назва операції	Запис реляційної операції
1.	Вибірка σ	$R_1 = \sigma_C(R_2)$, де R_1, R_2 – відповідні відношення, C – це умова, яка включає атрибути R_2 ;
2.	Проекція π	$R_1 = \pi_L(R_2)$, де L – це список атрибутів відношення R_2 ;
3.	Добуток \times	$R = R_1 \times R_2$, де кожний кортеж відношення R_1 з'єднується з кожним кортежем відношення R_2 і ці кортежі додаються у відношення R ;
4.	З'єднання θ	$R = R_1 \triangleright_C \triangleleft R_2$, ця операція еквівалентна $R_1 = \sigma_C(R_1 \times R_2)$;
5.	Природне з'єднання $\triangleright \triangleleft$	$R = R_1 \triangleright \triangleleft R_2$, виконується θ - з'єднання відношень R_1 та R_2 з умовою рівності атрибутів з однаковими іменами. В результат буде включено один стовпчик для кожної пари однакових атрибутів;
6.	Перейменування ρ	$\rho_{S(A_1 \dots A_n)}(R)$, створюється відношення ідентичне до відношення R , але з іменем S і з атрибутами, порядок та імена яких визначені A_1, \dots, A_n ;
7.	Оператор усунення дублікатів δ	$\delta(R)$, відношення, в якому є тільки один кортеж з декількох однакових, які є в R ;
8.	Сортування τ	$\tau_L(R)$, список кортежів R , відсортованих по значеннях атрибутів із списку L ;
9.	Розширена проекція π	в якості стовпця в проекції допускається функція, яка має в якості аргумента один або декілька стовпців відношення R
10.	Групування γ	$\lambda_L(R)$, де L – список елементів, кожний з яких: а) групує атрибут; б) $\theta(A)$, де θ – оператор агрегування, а A – атрибут, оператор застосування
11.	Зовнішнє з'єднання $\triangleright^o \triangleleft$	Використовується для уникнення втрати кортежів в результаті виконання природнього з'єднання.

ДОДАТОК Б

DDL БАЗИ ДАНИХ ОНТОЛОГІЧНО-КЕРОВАНОЇ СИСТЕМИ ІНТЕРВАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

```

SET @OLD_UNIQUE_CHECKS=@@UNIQUE_CHECKS, UNIQUE_CHECKS=0;
SET @OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS=@@FOREIGN_KEY_CHECKS,
FOREIGN_KEY_CHECKS=0;
SET @OLD_SQL_MODE=@@SQL_MODE,
SQL_MODE='ONLY_FULL_GROUP_BY,STRICT_TRANS_TABLES,NO_ZERO_IN_DATE,NO_ZERO_DAT
E,ERROR_FOR_DIVISION_BY_ZERO,NO_ENGINE_SUBSTITUTION';

-----
-- Schema mydb
-----
SHOW WARNINGS;
-----
-- Schema som
-----
DROP SCHEMA IF EXISTS `som` ;

-----
-- Schema som
-----
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS `som` DEFAULT CHARACTER SET utf8 COLLATE
utf8_unicode_ci ;
SHOW WARNINGS;
USE `som` ;

-----
-- Table `som`.`method`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`method` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`method` (
  `id` INT NOT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `type` VARCHAR(90) NULL,
  `equation` VARCHAR(90) NULL,
  `id_type_mod` INT NULL,
  `exp` VARCHAR(90) NULL,
  PRIMARY KEY (`id`))
ENGINE = InnoDB;

SHOW WARNINGS;

```

```

-----
-- Table `som`.`mod_meth`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`mod_meth` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`mod_meth` (
  `id_mod` INT(11) NOT NULL,
  `id_meth` INT(11) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`id_mod`, `id_meth`),
  INDEX `t1_idx` (`id_meth` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `t1`
    FOREIGN KEY (`id_meth`)
    REFERENCES `som`.`method` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_unicode_ci;

```

```
SHOW WARNINGS;
```

```

-----
-- Table `som`.`desc_mod`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`desc_mod` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`desc_mod` (
  `id` INT NOT NULL,
  `type_mod` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,
  `id_meth` INT NOT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `mod_adv` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  INDEX `d1_idx` (`id_meth` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `d1`
    FOREIGN KEY (`id_meth`)
    REFERENCES `som`.`method` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_unicode_ci;

```

```
SHOW WARNINGS;
```

```

-- Table `som`.`mod_obj`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`mod_obj` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`mod_obj` (
  `id_obj` INT NOT NULL,
  `id_mod` INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`id_obj`, `id_mod`))
ENGINE = InnoDB;

SHOW WARNINGS;

-----
-- Table `som`.`model`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`model` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`model` (
  `id` INT NOT NULL,
  `area` VARCHAR(90) NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `id_object` INT NULL,
  `parametr` VARCHAR(90) NULL,
  `result` VARCHAR(50) NULL,
  `id_method` INT NULL,
  `characteristic` VARCHAR(90) NULL,
  `id_app` INT NULL,
  `id_rep` INT NULL,
  INDEX `meth_idx` (`id_method` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `meth`
    FOREIGN KEY (`id_method`)
    REFERENCES `som`.`mod_meth` (`id_meth`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `t1`
    FOREIGN KEY (`id`)
    REFERENCES `som`.`desc_mod` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `t2`
    FOREIGN KEY (`id`)
    REFERENCES `som`.`mod_obj` (`id_mod`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```
SHOW WARNINGS;
```

```
-----  
-- Table `som`.`experiment`  
-----
```

```
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`experiment` ;
```

```
SHOW WARNINGS;
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`experiment` (
```

```
  `id` INT(11) NOT NULL,  
  `idmod` INT(11) NULL DEFAULT NULL,  
  `idmeth` INT(11) NULL DEFAULT NULL,  
  `date` DATETIME NULL DEFAULT NULL,  
  `descr` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,  
  `value` FLOAT(16) NULL DEFAULT NULL,  
  `source` VARCHAR(90) NULL,  
  PRIMARY KEY (`id`),  
  INDEX `e1_idx` (`idmod` ASC) VISIBLE,  
  CONSTRAINT `e1`  
    FOREIGN KEY (`idmod`)  
    REFERENCES `som`.`model` (`id`)  
    ON DELETE NO ACTION  
    ON UPDATE NO ACTION)
```

```
ENGINE = InnoDB
```

```
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
```

```
COLLATE = utf8_unicode_ci;
```

```
SHOW WARNINGS;
```

```
-----  
-- Table `som`.`ext_sys`  
-----
```

```
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`ext_sys` ;
```

```
SHOW WARNINGS;
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`ext_sys` (
```

```
  `idDataExper` INT(11) NOT NULL,  
  `DataType` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,  
  `id` INT(11) NULL DEFAULT NULL,  
  `type` VARCHAR(90) NULL,  
  `name` VARCHAR(90) NULL,  
  `connection` VARCHAR(45) NULL,  
  `id_experiment` INT NULL,  
  INDEX `x1_idx` (`id_experiment` ASC) VISIBLE,  
  CONSTRAINT `x1`  
    FOREIGN KEY (`id_experiment`)  
    REFERENCES `som`.`experiment` (`id`)  
    ON DELETE NO ACTION
```

```

    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_unicode_ci;

SHOW WARNINGS;

-----
-- Table `som`.`sub_area`
-----

DROP TABLE IF EXISTS `som`.`sub_area` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`sub_area` (
  `id` INT NOT NULL,
  `type` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `id_mod` INT NOT NULL,
  `id_apl` INT NULL DEFAULT NULL,
  `id_exp` INT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  INDEX `m1_idx` (`id_mod` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `m1`
    FOREIGN KEY (`id_mod`)
    REFERENCES `som`.`model` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_unicode_ci;

SHOW WARNINGS;

-----
-- Table `som`.`mod_var`
-----

DROP TABLE IF EXISTS `som`.`mod_var` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`mod_var` (
  `id` INT(11) NOT NULL,
  `type` VARCHAR(25) NULL DEFAULT NULL,
  `var` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `id_mod` INT(11) NULL DEFAULT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  INDEX `v1_idx` (`id_mod` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `v1`

```

```

FOREIGN KEY (`id_mod`)
REFERENCES `som`.`model` (`id`)
ON DELETE NO ACTION
ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_unicode_ci;

SHOW WARNINGS;

-----
-- Table `som`.`params`
-----

DROP TABLE IF EXISTS `som`.`params` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`params` (
  `idParams` INT(11) NOT NULL,
  `Type` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,
  `Value` FLOAT NULL DEFAULT NULL,
  `idMethod` INT(11) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`idParams`))
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_unicode_ci;

SHOW WARNINGS;

-----
-- Table `som`.`mod_par`
-----

DROP TABLE IF EXISTS `som`.`mod_par` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`mod_par` (
  `id_mod` INT(11) NOT NULL,
  `id_params` INT(11) NOT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  PRIMARY KEY (`id_mod`,`id_params`),
  INDEX `p1_idx` (`id_params` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `p1`
    FOREIGN KEY (`id_params`)
    REFERENCES `som`.`params` (`idParams`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `p2`
    FOREIGN KEY (`id_mod`)
    REFERENCES `som`.`model` (`id`)

```

```

    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_unicode_ci;

```

```
SHOW WARNINGS;
```

```

-----
-- Table `som`.`rep`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`rep` ;

```

```

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`rep` (
  `id` INT(11) NOT NULL,
  `id_mod` INT(11) NULL DEFAULT NULL,
  `id_meth` INT(11) NULL DEFAULT NULL,
  `type_rep` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL DEFAULT NULL,
  `params` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  INDEX `rp_idx` (`id_mod` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `rp`
  FOREIGN KEY (`id_mod`)
  REFERENCES `som`.`model` (`id`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_unicode_ci;

```

```
SHOW WARNINGS;
```

```

-----
-- Table `som`.`application`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`application` ;

```

```

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`application` (
  `id` INT NOT NULL,
  `name` VARCHAR(90) NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `id_model` INT NULL,
  `area` VARCHAR(90) NULL,
  `id_exper` INT NULL,
  `realization` VARCHAR(90) NULL,

```



```

PRIMARY KEY (`id`),
INDEX `p1_idx` (`id_model` ASC) VISIBLE,
INDEX `p2_idx` (`id_exper` ASC) VISIBLE,
CONSTRAINT `p1`
  FOREIGN KEY (`id_model`)
  REFERENCES `som`.`model` (`id`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,
CONSTRAINT `p2`
  FOREIGN KEY (`id_exper`)
  REFERENCES `som`.`experiment` (`id`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```
SHOW WARNINGS;
```

```
-----
-- Table `som`.`ident`
-----
```

```
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`ident` ;
```

```

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`ident` (
  `id` INT NOT NULL,
  `id_meth` INT NULL,
  `id_model` INT NULL,
  `id_exp` INT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `code` VARCHAR(150) NULL,
  `id_apl` INT NULL,
  INDEX `i1_idx` (`id_meth` ASC) VISIBLE,
  INDEX `i2_idx` (`id_model` ASC) VISIBLE,
  INDEX `i3_idx` (`id_apl` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `i1`
    FOREIGN KEY (`id_meth`)
    REFERENCES `som`.`method` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `i2`
    FOREIGN KEY (`id_model`)
    REFERENCES `som`.`model` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `i3`
    FOREIGN KEY (`id_apl`)
    REFERENCES `som`.`application` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION

```

```

    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

SHOW WARNINGS;

-----
-- Table `som`.`gener`
-----

DROP TABLE IF EXISTS `som`.`gener` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`gener` (
  `id` INT NOT NULL,
  `id_mod` INT NULL,
  `id_area` INT NULL,
  `code` VARCHAR(200) NULL,
  `id_apl` INT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  INDEX `g1_idx` (`id_apl` ASC) VISIBLE,
  INDEX `g2_idx` (`id_mod` ASC) VISIBLE,
  INDEX `g3_idx` (`id_area` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `g1`
    FOREIGN KEY (`id_apl`)
      REFERENCES `som`.`application` (`id`)
        ON DELETE NO ACTION
        ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `g2`
    FOREIGN KEY (`id_mod`)
      REFERENCES `som`.`model` (`id`)
        ON DELETE NO ACTION
        ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `g3`
    FOREIGN KEY (`id_area`)
      REFERENCES `som`.`sub_area` (`id`)
        ON DELETE NO ACTION
        ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

SHOW WARNINGS;

-----
-- Table `som`.`object`
-----

DROP TABLE IF EXISTS `som`.`object` ;

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`object` (
  `id` INT NOT NULL,

```

```

`type` VARCHAR(45) NULL,
`name` VARCHAR(90) NULL,
`descr` VARCHAR(45) NULL,
INDEX `obj_idx` (`id` ASC) VISIBLE,
PRIMARY KEY (`id`),
CONSTRAINT `obj`
  FOREIGN KEY (`id`)
  REFERENCES `som`.`mod_obj` (`id_obj`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```
SHOW WARNINGS;
```

```
-----
-- Table `som`.`repository`
-----
```

```
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`repository` ;
```

```
SHOW WARNINGS;
```

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`repository` (
  `id` INT NOT NULL,
  `id_mod` INT NULL,
  `id_exp` INT NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `id_app` INT NULL,
  `date_add` DATETIME NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  INDEX `r1_idx` (`id_mod` ASC) VISIBLE,
  INDEX `r2_idx` (`id_app` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `r1`
    FOREIGN KEY (`id_mod`)
    REFERENCES `som`.`model` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `r2`
    FOREIGN KEY (`id_app`)
    REFERENCES `som`.`application` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```
SHOW WARNINGS;
```

```
-----
-- Table `som`.`ontology`
-----
```

```
DROP TABLE IF EXISTS `som`.`ontology` ;
```

```

SHOW WARNINGS;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `som`.`ontology` (
  `id` INT NOT NULL,
  `tpe` VARCHAR(90) NULL,
  `descr` VARCHAR(90) NULL,
  `id_obj` INT NULL,
  `id_mod` INT NULL,
  `id_area` INT NULL,
  INDEX `o1_idx` (`id` ASC) VISIBLE,
  INDEX `o3_idx` (`id_obj` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `o1`
    FOREIGN KEY (`id`)
      REFERENCES `som`.`sub_area` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `o2`
    FOREIGN KEY (`id`)
      REFERENCES `som`.`model` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `o3`
    FOREIGN KEY (`id_obj`)
      REFERENCES `som`.`object` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

SHOW WARNINGS;

SET SQL_MODE=@OLD_SQL_MODE;
SET FOREIGN_KEY_CHECKS=@OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS;
SET UNIQUE_CHECKS=@OLD_UNIQUE_CHECKS;

```

ДОДАТОК В
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Androshchuk O., Berezenskyi R., Lemeshko O., Melnyk A., Huhul O. Model of explicit knowledge management in organizational and technical systems. *International Journal of Computing*. 2021. Vol. 20, Iss. 2. P. 228–236.
2. Dyvak M., Kovbasisty I., Melnyk A., Shcherbiak I., Huhul O. Recognition of relevance of web resource content based on analysis of semantic components. *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2019)*, Ceske Budejovice, Czech Republic. 2019. P. 297–302.
3. Dyvak M., Kovbasisty I., Melnyk A., Turchyn L., Martsenyuk Y. System for web resources content structuring and recognizing with the machine learning elements. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2018. Vol.3. P. 128–134.
4. Dyvak M., Melnyk A., Dostalek L., Ostroverkhov V., Honchar L., Romanets I. Repository of interval models of dynamics of concentrations of harmful emissions of motor transport. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Spisska Kapitula, Slovakia. 2022. P. 89–94.
5. Dyvak M., Melnyk A., Dyvak N., Papa O., Ostroverkhov V., Lobodina Z. Intelligent module of information processing for the applied software system to provide administrative services. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 604–607.
6. Dyvak M., Melnyk A., Kedrin Y. Interval model of the user reactions to messages in thematic groups of social networks. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. Proceedings of the XIVth International Conference TCSET'2022. Lviv–Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2022. P. 837–840.
7. Dyvak M., Melnyk A., Kopnický M., Dostalek L., Krytskyi I., Dyvak A. Using an ontological approach for improvement of the interval model in the problem

of the recurrent laryngeal nerve identification during thyroid surgery. *CEUR-WS*. 2021. Vol. 3038. P. 317-322.

8. Dyvak M., Melnyk A., Kovbasisty A., Shevchuk R., Huhul O., Tymchyshyn V. Mathematical modeling of the estimation process of functioning efficiency level of information web-resources. *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Deggendorf, Germany. 2020. P. 492–496.

9. Dyvak M., Melnyk A., Martsenyuk Y., Rohatynska N., Brukhanskyi R., Pytel S. Evolutionary method based on artificial bee colony and ontological approach for structural identification of interval discrete models of objects with distributed parameters. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Spisska Kapitula, Slovakia. 2022. P. 95–100.

10. Dyvak M., Melnyk A., Mazepa S., Stetsko M. An ontological approach to detecting irrelevant and unreliable information on web-resources and social networks. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2022. Vol. 831. P. 481–492.

11. Dyvak M., Melnyk A., Pukas A., Dostalek L. Control of mathematical modeling process of dynamics of harmful substances concentrations on the basis of ontological approach. *Computational Problems of Electrical Engineering*. 2022. Vol. 12, Issue 1, P. 7–16.

12. Dyvak M., Melnyk A., Rot A., Hernes M., Pukas A. Ontology of mathematical modeling based on interval data. *Complexity*. 2022. Vol. 2022. Article Id: 8062969. P. 1–19.

13. Dyvak M., Papa O., Melnyk A., Pukas A., Porplytsya N., Rot A. Interval model of the efficiency of the functioning of information web resources for services on ecological expertise. *Mathematics*. 2020. Vol.8, Issue 2116. P. 1–12.

14. Dyvak M., Porplytsya N., Maslyiak Y., Pukas A., Melnyk A. Method of identification of models of objects with distributed parameters with a spatially distributed control based on interval data analysis. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2017. Issue 2. P. 150–159.

15. Dyvak M., Pukas A., Melnyk A., Klos-Witkowska A., Karpinski M. Mathematical model in task of recurrent laryngeal nerve identification by

electrophysiological method. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*. 2017. Issue 12. P. 266–270.

16. Dyvak M., Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Valchyshyn S., Romanets I. Software architecture for modeling the interval static and dynamic objects. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 572–575.

17. Dyvak M., Pukas A., Oliynyk I., Melnyk A. Selection the “saturated” block from interval system of linear algebraic equations for recurrent laryngeal nerve identification. *2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP): Proceedings of the Conference*. Lviv–Novoiavorivsk, Ukraine. August 21–25, 2018. P. 444–448.

18. Kasianchuk M., Yakymenko I., Pazdriy I., Melnyk A., Ivasiev S. Rabin's modified method of encryption using various forms of system of residual classes. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XIV International Conference CADSM'2017*. Polyana–Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”. 2017. P. 222–224.

19. Kovbasistyi A., Melnyk A., Dyvak M., Brych V., Spivak I. Method for detection of non-relevant and wrong information based on content analysis of web resources. *Perspective Technologies and Methods in MEMS Design: Proceedings of the XIII-th International Conference ‘MEMSTECH’2017’*. Lviv–Polyana: Lviv Polytechnic National University. 2017. P. 154–156.

20. Lendyuk T., Melnyk A., Rippa S., Golyash I., Shandruk S. Individual learning path building on knowledge-based approach. *2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2015*. Warsaw, Poland. September 24–26, 2015. P. 949–954.

21. Mazepa S., Banakh S., Melnyk A., Pugach S., Yavorska O., Golota N. An ontological approach to detecting fake news in online media. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 531–535.

22. Melnyk A., Huhul O., Shevchuk R., Shcherbiak I., Martsenyuk Y., Kovbasystyi A. Intelligent system of analyzing the structure of web-resources. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 560–563.
23. Melnyk A., Shevchuk R., Huhul O., Shcherbiak I., Shevchuk A., Franko Y. Software architecture for mathematical modelling based on interval and ontology approach. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Spisska Kapitula, Slovakia. 2022. P. 101–105.
24. Melnyk A., Shpintal M., Spilchuk V., Susla M. Method for evaluating the efficiency of systems for distance education. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. Proceedings of the XIIIth International Conference TCSET'2016. Lviv–Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2016. P. 855–857.
25. Pasichnyk N., Melnyk A., Dobrovolska N. Management the website attendance based on the projected traffic. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*: Proceedings of the XII International Conference CADSM'2013. Polyana–Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”. 2013. P. 277.
26. Pasichnyk R., Melnyk A., Bilous I., Duma L., Pushkar B., Monko R. Historical training game model with mathematical and information aspects. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Spisska Kapitula, Slovakia. 2022. P. 84–88.
27. Pasichnyk R., Susla M., Pasichnyk N., Melnyk A. Model of pollution on the local section of an urban highway and its identification method. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*: Proceedings of the XIVth International Conference (TCSET'2018). Lviv–Slavske: Lviv Polytechnic National University. 2018. P. 864–867.
28. Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Smal V., Fenovka V., Pylypiuk T. Implementation of service-oriented architecture for static and dynamic objects interval modeling software. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 568–571.

29. Pukas A., Melnyk A., Voytyuk I., Yushko A., Romanyuk M., Honchar L. Transactional business application based on microservice architecture. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 564–567.
30. Pasichnyk P., Pasichnyk N, Melnyk A., Strubycka I. Concept model of resources accumulation and operational management in biotechnology, biomedical and Web information systems. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XIII International Conference CADSM'2015*. Polyana–Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”, 2015. P. 152–155.
31. Shevchuk R., Kohut I., Chopyk P., Madiudia I., Melnyk A. Cyber-physical integrated transport and warehouse logistics system for courier delivery service. *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2021)*. Deggendorf, Germany. 2021. P. 652–656.
32. Shevchuk R., Melnyk A., Opalko O., Shevchuk H. Software for automatic estimating security settings of social media accounts. *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Deggendorf, Germany. 2020. P. 769–773.
33. Shevchuk R., Tykhiy R., Melnyk A., Karpinski M., Owedyk Y., Yurchyshyn T. Cyber-physical system for dynamic annotating real-world objects using augmented reality. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Spisska Kapitula, Slovakia. 2022. P. 392–395.
34. Susla M., Pasichnyk R., Melnyk A., Pasichnyk N., Vasylykiv O., Androshchuk O. Formalization of scientific researches results in corporate knowledge bases as a tool of their accumulation. *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Deggendorf, Germany. 2020. P. 488–491.
35. Susla M., Pasichnyk R., Pasichnyk N., Melnyk A. Adjustment of the model of the agent-determinant type in the forecasting of pollution on the section of the city road. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2300. P. 38-41.

36. Susla M., Pasichnyk R., Pasichnyk N., Melnyk A., Shcherbiak I., Akimjak A. Principles of building a mathematical model for the influence of mineral fertilizers on grain yield. *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2019)*. Ceske Budejovice, Czech Republic. 2019. P. 145–148.
37. Tymchyshyn V., Porplytsya N., Melnyk A., Tymchyshyn B. Software for modelling the air pollution by vehicles. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2300. P. 207-210.
38. Yakymenko I., Kasianchuk M., Ivasiev S., Melnyk A., Nykolaichuk Y. Realization of RSA cryptographic algorithm based on vector-module method of modular exponention. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. Proceedings of the XIVth International Conference TCSET'2018. Lviv. Slavske: Lviv Polytechnic National University. 2018. P. 550–554.
39. Дивак М.П., Манжула В.І., Мельник А.М., Пукас А.В. Метод структурної ідентифікації нелінійних інтервальних моделей статичних об'єктів. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2022. Том. 54. №2. С. 103–114.
40. Дивак М.П., Манжула В.І., Мельник А.М., Тимчишин В.С. Система моніторингу забруднення повітря автотранспортом на базі автономного аеромобільного вимірювального комплексу. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2021. Том 42. №2. С. 73–84.
41. Дивак М.П., Мельник А.М., Кедрін Є.С., Франк О. Інтервальна модель портрету користувачів тематичної групи з проблем екології у соціальній мережі. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2021. Том 41. №1. С. 78–88.
42. Дивак М.П., Мельник А.М., Ковбасистий А.В., Папа О.А. Підхід до математичного моделювання ефективності web-ресурсів. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2020. Том. 38. №2. С. 29–37.
43. Дивак М.П., Мельник А.М., Папа О.А. Математичне та програмне забезпечення інтелектуального модуля прикладних програмних систем для надання адміністративних послуг щодо проведення екологічної експертизи.

Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2020. Том. 49. №3. С. 66–76.

44. Дивак М.П., Пукас А.В., Порплиця Н.П., Мельник А.М. Прикладні задачі структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів: монографія. Тернопіль: Університетська думка. 2021. 212 с.

45. Жидик М., Мельник А., Шпак В., Ковбасистий А. Комп'ютерна мережа для моделі "розумного будинку". *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю АСІТ'2017. Тернопіль: ТНЕУ. 2017. С. 34.

46. Мельник А.М. Методи та засоби виявлення неактуальної та недостовірної інформації на web-ресурсах. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2020. Том 10. №3-4. С. 167–176.

47. Мельник А.М. Онтологія як програмна надбудова до системи для математичного моделювання на основі інтервальних даних. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2022. Том. 54. №2. С. 26–38.

48. Мельник А.М., Дивак М.П. Метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із адаптивним налаштуванням вибору структурних елементів. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2022. №3. С.61–72.

49. Мельник А.М., Дивак М.П., Манжула В.І. Моделювання динаміки концентрацій шкідливих викидів автотранспорту на основі поєднання методів інтервального аналізу та онтологічного підходу. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2022. №2. С.14–23.

50. Мельник А.М. Архітектура програмного забезпечення для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2022. №3. С. 265–273.

51. Мельник А.М. Роль моделі управління процесом автоматизованого навчання в підвищенні відвідуваності веб-сайтів. *Вісник*

Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2016. №3. С.15–19.

52. Мельник А., Гарах О. Метод синхронізації баз даних за допомогою хеш-функцій на основі нелінійного розбиття таблиць. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали II Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2012. Тернопіль: ТНЕУ. 2012. С. 183.

53. Мельник А., Кравець М. Автоматизована система для оцінки вартості та обліку приєднання споживачів до електричних мереж. *Комп'ютерні інформаційні технології*: матеріали школи–семінару молодих вчених і студентів СІТ'2019. 29 листопада 2019. Тернопіль: ТНЕУ. 2019. С. 23.

54. Мельник А., Лабик Д. Метод "прозорої журналізації" для організації процесу тестування web-орієнтованих інформаційних систем. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали V Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2015. Тернопіль: ТНЕУ. 2015. С. 139–141.

55. Мельник А., Лавор М., Романюк М., Тимчишин В. Математичне та програмне забезпечення пошуку клонів коду на основі семантичних методів. *Комп'ютерні інформаційні технології*: матеріали школи–семінару молодих вчених і студентів СІТ'2020. 30 листопада 2020. Тернопіль: ТНЕУ. 2020. С. 44–45.

56. Мельник А., Миць О. Підвищення ефективності пошуку документів в інтернет із врахуванням подібності веб-сторінок. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали III Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2013. Тернопіль: ТНЕУ. 2013. С. 212.

57. Мельник А., Панченко О. Модель онтології предметної області. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали III Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2013. Тернопіль: ТНЕУ. 2013. С. 213.

58. Мельник А., Пик І. Застосування генетичного алгоритму для оцінки ризиків проекту. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали VI Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2016*. Тернопіль: ТНЕУ. 2016. С. 135–137.

59. Мельник А., Посуляк Р., Буца В. Інформаційна технологія ризик-орієнтованого оцінювання функціональності web-орієнтованих систем. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали V Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2015*. Тернопіль: ТНЕУ. 2015. С. 142–144.

60. Мельник А., Проць С. Моделюючий алгоритм для оцінки надійності складних багатофункціональних технічних систем. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали VI Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2016*. Тернопіль: ТНЕУ. 2016. С. 28–30.

61. Мельник А., Сіткар Т. Формування фахових знань за допомогою інтелектуальної навчальної системи. *Інформаційне суспільство: стан і перспективи розвитку у світлі регіональних особливостей: матеріали між нар. наук.-практ. конференції. 11-14 жовтня 2012*. Краків-Жешів-Львів-Тернопіль. Тернопіль: ТІСІТ. 2012. С. 30-31.

62. Мельник А., Співак І., Сирник О., Дробот І. Побудова адаптивної моделі користувача в інтерфейсах Web-орієнтованих систем. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали VI Всеукраїнської школи – семінару молодих вчених та студентів АСІТ'2016*. Тернопіль: ТНЕУ. 2016. С. 137–139.

63. Мельник А., Тимчишин В., Ковбасистий А., Романюк М. Математичне та програмне забезпечення управління реплікаціями в базах даних типу NoSQL. *Комп'ютерні інформаційні технології: матеріали школи–семінару молодих вчених і студентів СІТ'2019*. 29 листопада 2019. Тернопіль: ТНЕУ. 2019. С. 24.

64. Мельник А.М., Дивак М.П., Пасічник Р.М. Метод виявлення неактуальної інформації в сервісно-орієнтованих корпоративних системах на прикладі систем оцінювання якості ґрунтів. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2021. Том. 50. №1. С. 45–54.

65. Шевчук Р.П., Мельник А. М. Мобільна кіберфізична система для динамічного відображення інформації про об'єкти на цифровій карті місцевості. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Том. 27. №4. С. 170–176.

ДОДАТОК Г

ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на 22 міжнародних та всеукраїнських конференціях, у тому числі на 15 міжнародних науково-технічних конференціях:

“The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics”, CADSM (Львів-Поляна, 2013, 2015, 2017); “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science”, TCSET (Львів-Славсько, 2016, 2018, 2022); IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (September 24–26, 2015, Warsaw, Poland); “Perspective Technologies and Methods in MEMS Design” MEMSTECH (Lviv-Polyana, 2017); “Data Stream Mining & Processing” DSMP (Lviv-Novoiavorivsk, 2018); “Advanced Computer Information Technologies” ACIT (Ceske Budejovice, Czech Republic, 2018, 2019; Deggendorf, Germany, 2020; Spišská Kapitula, Slovakia, 2022); Перша міжнародна мережева науково-практична конференція “Інформаційне суспільство: стан і перспективи розвитку в світлі регіональних особливостей” (Краків-Жешів-Львів-Тернопіль, 2012); 7 Всеукраїнських науково-технічних конференціях: “Сучасні комп’ютерні інформаційні технології” ACIT (Тернопіль, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017); “Комп’ютерні інформаційні технології” CIT (Тернопіль, 2019, 2020), а також наукових семінарах кафедри комп’ютерних наук Західноукраїнського національного університету (2012-2022).

ДОДАТОК Д

АКТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ



ТЕРНОПІЛЬСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ТЕРНОПІЛЬСЬКА ОБЛАСНА ВІЙСЬКОВА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

вул. Грушевського, 8, м.Тернопіль, 46021, тел./факс (0352) 51-70-10
E-mail: digital@te.gov.ua, Web: digital.te.gov.ua Код згідно ЄДРПОУ 44253982

від 20.10.2022 № 10/3 На № _____ від _____

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Мельника Андрія Миколайовича
**“Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та
моделювання складних об’єктів”**

Для ефективного використання цифрових даних системи управління із застосуванням сучасних інформаційних технологій, використано результати дисертаційної роботи доцента кафедри комп’ютерних наук Західноукраїнського національного університету Мельника Андрія Миколайовича, а саме:

1. Метод фільтрування даних, який ґрунтується на основі метрики оцінки актуальності інформації в сервісно-орієнтованих системах. Використання зазначеного методу разом із розробленим програмним забезпеченням дозволило суттєво зменшити ступінь отримання неактуальної інформації в процесі формування та виконання відповідних сервісів.

2. Програмне середовище для математичного моделювання на основі інтервальних дискретних моделей складних об’єктів, яке ґрунтується на застосуванні онтології, що забезпечує його адаптацію та інтерпретацію в програмний код під задану предметну область та під конкретні вимоги користувача.

Директор департаменту



Олександр ШЛАПАК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Комунального некомерційного підприємства Тернопільська комунальна міська лікарня №2

Канд.мед.наук ЛЕВЧУК Р. Д.

« 17 » листопада 2022 р.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
МЕЛЬНИКА Андрія Миколайовича
на тему “Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об’єктів”

У процесі проведення хірургічних втручань на щитоподібній залозі використано результати дисертаційної роботи доцента кафедри комп’ютерних наук Західноукраїнського національного університету МЕЛЬНИКА Андрія Миколайовича. Ними є програмний комплекс та пристрій, які реалізують методи структурної та параметричної ідентифікації моделей виявлення зворотного гортанного нерва при операціях на щитоподібній залозі на основі аналізу інтервальних даних, реалізовані з використанням поведінкових моделей бджолоїної колонії та онтологічному підході.

Розроблене автором комп’ютерне середовище дозволяє візуалізувати зворотний гортанний нерв під час операції на щитоподібній залозі і попередити його інтраопераційні травми. Це дозволяє суттєво підвищити ефективність і безпеку хірургічного лікування хворих на зоб.

Впровадження і застосування розробленої технології проведено при виконанні хірургічного лікування зоба у 119 хворих за період з 19.01.2022 по 22.12.2022 року. Всього ідентифіковано 221 поворотний нерв. Випадків неідентифікації нервів не було. Технологія і метод рекомендуються до широкого використання в хірургії щитоподібної залози.

Відповідальний за впровадження
завідувач хірургічним відділом
Тернопільської комунальної міської
лікарні №2

В.В.Паничев

Затверджую
 Генеральний директор
 Державної установи
 "Тернопільський обласний центр
 контролю та профілактики хвороб
 Міністерства охорони здоров'я
 України"



Оксана ЧАЙЧУК

«22» 11 2022 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
 МЕЛЬНИКА Андрія Миколайовича
 на тему "Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та
 моделювання складних об'єктів"

Ми, комісія у складі: Василя ПАВЛИКА, Степана ДНІСТРЯНА, склали даний акт про те, що при удосконаленні системи контролю та моніторингу атмосферного повітря у м.Тернополі використано результати дисертаційної роботи доцента кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету МЕЛЬНИКА Андрія Миколайовича, а саме:

1. Багатофункціональний програмний комплекс, який реалізує методи побудови інтервальних моделей складних об'єктів, зокрема в екології, а саме методи їх структурної та параметричної ідентифікації на основі аналізу інтервальних даних, реалізовані на основі поведінкових моделей бджолиної колонії та онтологічному підході. Зазначений комплекс використано при побудові моделей поширення в атмосфері шкідливих викидів автотранспорту для підтримки прийняття рішень щодо забруднення повітря у м. Тернопіль.
2. Репозиторій інтервальних дискретних моделей забруднення атмосфери автотранспортом на різних ділянках міста, які вміщують онтологічний опис як предметної області застосування моделей, так і умови їх розробки, що у сукупності спрощує процедури створення зазначеного класу математичних моделей, а відповідно й підвищує ефективність та точність прийняття рішень.

Завідувач санітарно-гігієнічної
 лабораторії

Василь ПАВЛИК

Завідувач відділу дослідження
 фізичних та хімічних факторів

Степан ДНІСТРЯН

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Начальник відділу «Центр надання
 адміністративних послуг»
 Тернопільської міської ради
 Інеса ПАНИЧЕВА
 «15» 11 2022 р.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
 Мельника Андрія Миколайовича
**“Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та
 моделювання складних об’єктів”**

У процесі розробки та підтримки програмного забезпечення центру надання адміністративних послуг Тернопільської міської ради використано результати дисертаційної роботи доцента кафедри комп’ютерних наук Західноукраїнського національного університету Мельника Андрія Миколайовича, а саме нові методи структурної ідентифікації інтервальних моделей складних об’єктів на основі поєднання методів інтервального аналізу, поведінкових моделей бджолиної колонії та знання-орієнтованому підході опису предметної області об’єктів на основі онтології, які забезпечили побудову інтервальної дискретної моделі у вигляді різницевого рівняння, що описує динаміку реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж, в якій враховано реакції користувачів на інформаційні повідомлення, що дало змогу побудувати їх стійкий портрет та оптимальний розклад публікацій спеціалізованої групи ЦНАП у Facebook для максимізації кількості реакцій на повідомлення.

Розроблені автором методи безпосередньо впроваджені в ЦНАП у програмній системі, що у сукупності забезпечило підвищення ступеня обґрунтованості рішень щодо оптимізації процесів надання послуг населенню.

Заступник начальника відділу
 «Центр надання адміністративних послуг»

Алла ДЕМАКОВА

Завідувач сектору надання послуг
 виконавчих органів ради відділу
 «Центр надання адміністративних послуг»,
 адміністратор

Ольга ДУДЧЕНКО

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Мельника Андрія Миколайовича
“Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та
модельовання складних об’єктів”

Даний акт складений про те, що при реалізації багатьох програмних проектів в компанії “ELEKS” (Тернопіль) використано результати дисертаційної роботи доцента кафедри комп’ютерних наук Західноукраїнського національного університету Мельника Андрія Миколайовича, а саме нові методи структурної ідентифікації інтервальних моделей складних об’єктів на основі поєднання методів інтервального аналізу, поведінкових моделей бджолоїної колоній та знання-орієнтованому підході опису предметної області об’єктів на основі онтології.

Розроблений автором метод фільтрування даних, який побудований із використанням метрики оцінки актуальності інформації, дозволив оптимізувати структуру оцінювання інформаційних дописів користувачів соціальної спільноти в процесі використання програмних продуктів та надання відповідних відгуків та коментарів.

Керівник тернопільського офісу
компанії “ELEKS”



Сергій КУТУЗОВ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Західноукраїнського національного
університету

д.е.н., проф. Зеновій Михайло ЗАДОРЖНИЙ

«18» 10 2023 р.

АКТ



про використання результатів дисертаційної роботи
Мельника Андрія Миколайовича
**«Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та
моделювання складних об'єктів»**

Комісія у складі: голови — декана факультету комп'ютерних інформаційних технологій, д.т.н., проф. Дивака М.П. та членів: начальника науково-дослідної частини, д.е.н., проф. Семанюк В.О., начальника планово-фінансового відділу Кушніра О.Р. склали цей акт про те, що дослідження та результати дисертаційної роботи Мельника А.М. використані під час виконання науково-дослідних робіт на кафедрі комп'ютерних наук факультету комп'ютерних інформаційних технологій згідно з пріоритетним напрямом «Інформаційні та комунікаційні технології» з безпосередньою участю автора, а саме:

– НДР "Математичне та комп'ютерне моделювання об'єктів з розподіленими параметрами на основі поєднання онтологічного та інтервального аналізу" (2022-2024 рр., № держреєстрації 0122U001497, відповідальний виконавець). Автор запропонував нову концепцію ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яка передбачає поєднання методів аналізу інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваного об'єкта так і області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології;

– НДР "Розвиток систем підтримки рішень, керованих моделями та даними в умовах невизначеності." (2022 р., № держреєстрації 0121U114705). Автором розроблено метод вибору математичної моделі із репозиторію в рамках онтологічного підходу для моделювання на основі інтервальних даних;

– НДР "Математичне та програмне забезпечення для класифікації тканин хірургічної рани в процесі операції на органах шиї" (2017-2018 рр., № держреєстрації 0117U000410). Автором розроблено метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей ідентифікації зворотного гортанного нерва в процесі хірургічної операції на органах шиї.

А також за госпдоговірною тематикою:

– НДР «Реінженерія веб-порталу підприємства та імплементація мобільного додатку до нього» (травень 2020 - вересень 2020 рр., № держреєстрації 0120U102833, замовник – ТзОВ «Терногаз»). Автором розроблено метод фільтрування даних на основі метрики оцінки актуальності інформації в сервісно-орієнтованих системах;

– НДР «Онлайн система «Терногаз» (липень 2019 - серпень 2019 рр., № держреєстрації 0119U102841, замовник – ТзОВ «Терногаз»). Автором запропоновано метрику оцінки актуальності інформації, яка використовувалася в процесі реалізації веб-орієнтованої інформаційної системи надання відповідних послуг;

– НДР „Модернізація програмної системи підтримки діяльності Центру надання адміністративних послуг Тернопільської міської ради” (жовтень 2017-грудень 2017 рр., № держреєстрації 0117U003870, замовник – Тернопільська міська рада, відповідальний виконавець); НДР „Розширення функціоналу програмної системи підтримки діяльності Центру надання адміністративних послуг Тернопільської міської ради” (вересень 2016-грудень 2016 рр., № держреєстрації 0116U008541, замовник – Тернопільська міська рада, відповідальний виконавець). У вказаних науково-дослідних роботах автором розроблено метод структурної ідентифікації дискретних моделей динаміки реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж та апробовано його для інтелектуалізації системи надання адміністративних послуг.

Голова комісії:

декан факультету комп'ютерних
інформаційних технологій,
керівник НДР, д. т. н., професор



Микола ДИВАК

Члени комісії:

начальник науково-дослідної
частини, д. е. н., професор



Віта СЕМАНЮК

начальник
планово-фінансового відділу



Олексій КУШНІР

ЗАТВЕРДЖУЮ
Перший проректор
Західноукраїнського
національного університету
к.ф.-м.н., доцент Микола ШИНКАРИК

«30» _____ 2022 р.

АКТ



про впровадження в освітній процес Західноукраїнського національного університету результатів дисертаційної роботи
Мельника Андрія Миколайовича
«Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об'єктів»

Даний акт складений про те, що результати дисертаційної роботи Мельника Андрія Миколайовича на тему: «Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об'єктів» використані в освітньому процесі факультету комп'ютерних інформаційних технологій Західноукраїнського національного університету для студентів спеціальності «Інженерія програмного забезпечення».

При викладанні дисциплін «Web-онтології», «WEB програмування», «Інтервальний аналіз даних» розглядається концепція ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яка передбачає поєднання методів аналізу інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваного об'єкта так і області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології, що у сукупності створило можливість розробки нових, більш ефективних з обчислювальної точки зору методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей об'єктів. При викладанні дисципліни «Засоби програмування баз даних та знань» розглядається комп'ютерне середовище для математичного моделювання на основі інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яке на відміну від існуючих ґрунтується на знання-орієнтованому підході опису області побудови даного класу моделей із застосуванням онтології.

Декан факультету комп'ютерних
інформаційних технологій,
д.т.н., професор

Микола ДИВАК

Завідувач кафедри
комп'ютерних наук, д.т.н., доцент

Андрій ПУКАС