

УДК 00467

А. М. Мельник

## ОНТОЛОГІЯ ЯК ПРОГРАМНА НАДБУДОВА ДО СИСТЕМИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДАНИХ

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль

**Анотація.** У статті розглянуто важливу наукову проблему 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 при забезпеченні її заданих прогностичних властивостей, розв'язування якої слугуватиме поштовхом для розвитку прикладних досліджень у сферах оборони країни, охорони довкілля, медицини та інших галузях, де необхідною компонентою системи підтримки прийняття рішень є математичні моделі об'єктів з розподіленими параметрами. Охарактеризовано сутність підходу до математичного моделювання на основі інтервального аналізу, основною особливістю якого є багаторазова оцінка параметрів моделі «вхід-вихід», побудованої за результатами експериментів, в якому вихідні змінні отримують в інтервальному вигляді. Основними результатами досліджень, наведеними в статті є: опис підходу до використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів, з метою розширення сфери та умов застосування моделей при забезпеченні її заданих прогностичних властивостей; запропоновано покровоку схему процесу розробки онто-керованої програмної системи математичного моделювання на основі інтервального аналізу; запропоновано схему процесу реалізації, використання та оновлення розглянутої онтологічної моделі предметної області математичного моделювання на основі інтервальних даних. Особливістю запропонованих в даній статті підходів є те, що вони можуть бути реалізовані як програмна надбудова до прикладних систем математичного моделювання на основі інтервального аналізу. Поєднання підходів на основі інтервального аналізу та онтологічного представлення предметної області забезпечує підвищення ефективності обчислювальних процедур ідентифікації моделей складних об'єктів, а також адаптивне використання різнотипних моделей для різних предметних областей в системах підтримки прийняття рішень.

**Ключові слова:** онтологія, схема використання, математичне моделювання, методи інтервального аналізу даних, архітектура програмного забезпечення, програмно-інструментальні засоби.

**Abstract.** The article considers an important scientific problem of developing methods and means of constructing discrete models of complex objects in the form of interval difference equations based on a combination of ontological approach and analysis of interval data to expand the scope and conditions of application of models. impetus for the development of applied research in the fields of national defense, environmental protection, medicine and other areas, where the necessary component of the decision support system are mathematical models of objects with distributed parameters. The essence of the approach to mathematical modeling based on interval analysis is characterized, the main feature of which is the multiple estimation of the parameters of the input-output model, built on the results of experiments in which the output variables are obtained in interval form. The main research results presented in the article are: description of the approach to the use of mathematical modeling ontology based on interval data for software development and use, in order to expand the scope and conditions of application of models while ensuring its given prognostic properties; a step-by-step scheme of the process of developing an onto-controlled software system of mathematical modeling based on interval analysis is proposed; the scheme of the process of realization, use and updating of the considered ontological model of the subject area of mathematical modeling on the basis of interval data is offered. The peculiarity of the approaches proposed in this article is that they can be implemented as a software add-on to applied systems of mathematical modeling based on interval analysis. The combination of approaches based on interval analysis and ontological representation of the subject area provides increased efficiency of computational procedures for identifying models of complex objects, as well as the adaptive use of different models for different subject areas in decision support systems.

**Key words:** ontology, usage scheme, mathematical modeling, methods of interval data analysis, software architecture, software and tools.

**DOI:** <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-54-2-26-38>.

### Вступ

Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій передбачають використання інтелектуалізованих систем підтримки рішень, керованих моделями та даними, в умовах невизначеності. Одним із засобів що забезпечує розвиток таких систем є математичне моделювання як процес 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 прийняття рішень так і в процесах їх підготовки.

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 та даними [1,2,3].

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 придатними для використання в інтелектуалізованих системах підтримки прийняття рішень та в експертних системах [4-6]. 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.

Таким чином виникають протиріччя побудови макромоделей складних об'єктів з гарантованими прогностичними властивостями на основі інтервальних даних, а з іншого боку це призводить до ускладнення методів структурної та параметричної ідентифікації цих моделей, ускладнення самих моделей та ускладнення їх застосування в системах підтримки рішень, керованих моделями та даними, в умовах невизначеності.

Саме це протиріччя становить суть наукової проблеми зниження обчислювальної складності процесів побудови математичних моделей складних об'єктів в умовах інтервальної невизначеності з одночасним забезпеченням гарантованої точності цих моделей в межах необхідних для розв'язування задач прийняття рішень. При розв'язанні цієї проблеми розглядаються комп'ютерні (дискретні) моделі складних об'єктів у різних прикладних сферах.

Спираючись на припущення, що точність математичної моделі повинна бути спів мірна 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 різницевого рівнянь. Разом з тим, представлення цих моделей у вигляді інтервальних різницевого 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, то необхідно розробити гібридні методи налаштування структури моделі та параметрів з метою підвищення її прогностичних властивостей.

Таким чином, розроблення методів та засобів побудови дискретних моделей складних об'єктів у вигляді інтервальних різницевого рівнянь на основі поєднання онтологічного підходу та аналізу інтервальних даних для розширення сфери та умов застосування моделей при забезпеченні її заданих прогностичних властивостей є актуальною проблемою, розв'язування якої створює умови для розвитку теорії ідентифікації та математичного моделювання, а також слугуватиме поштовхом для розвитку прикладних досліджень у сферах оборони країни, охорони довкілля, медицини та інших галузях.

### Актуальність

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 [1-3]. Процеси математичного моделювання складаються з великої кількості процедур, які переважно реалізовані у відповідних інструментах, тобто у вигляді певних програмних систем [3].

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. 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 [3].

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 [7-12].

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 [13-20].

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.

### Мета

Метою статті є реалізація схеми поєнання онтологічного підходу та аналізу інтервальних даних в процесі розробки програмних систем з інтелектуальним аналізом даних.

Для досягнення поставленої у роботі мети необхідно розв'язати такі завдання:

- провести аналіз проблем моделювання об'єктів на основі інтервальних даних, розкрити сутність онтологічного підходу;
- запропонувати схему використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів;
- запропонувати схему використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних та її оновлення;
- здійснити експериментальні дослідження запропонованих в роботі методів, оцінити їх ефективність.
- сформулювати напрямки подальших наукових досліджень, виходячи із отриманих у роботі напрацювань та результатів.

### Задачі

1. Аналіз проблем моделювання об'єктів на основі інтервальних даних, та особливостей поєнання інтервального та онтологічного підходу.
2. Реалізація схеми використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів.
3. Реалізація схеми використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних та її оновлення.
4. Проведення експериментальних досліджень для підтвердження ефективності запропонованих процедур на прикладі системи моделювання на основі інтервального аналізу для моделювання шкідливих викидів оксиду вуглецю на певній території міста.

### Розв'язання задач

Проблема моделювання об'єктів на основі інтервальних даних розглянута в роботах [1-3,11,15]. Автори інтервального підходу заявляють, що він має цілу низку переваг перед стохастичним підходом. Серед основних – відсутність вимоги до дослідження статистичних характеристик модельованого об'єкта, що в свою чергу зменшує кількість експериментів (вибірка даних). Тому підхід на основі інтервального аналізу даних є більш корисним для дослідження властивостей об'єкта в умовах обмеженої вибірки. Декларативний підхід до представлення знань про методи моделювання об'єктів на основі інтервального аналізу даних дає змогу розробити інструменти для використання зазначеного підходу як дослідниками, так і практиками. Для розробки онтології даної предметної області та її практичного використання в процесі реалізації відповідного програмного забезпечення, необхідно розглянути основні поняття зазначеного підходу.

По-перше, основна концепція, яка відноситься до методу представлення даних у вигляді інтервалів можливих значень змодельованої характеристики представляється наступним відношенням:

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

де  $\left[ z_{i,j,h,k}^-; z_{i,j,h,k}^+ \right]$  – відповідно нижня і 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) і дискретний за часом  $k = 0, \dots, K$  (для динамічних об'єктів, наприклад динаміка забруднення повітря від транспортних засобів за дискретний час).

Зауважимо, що в вимірному експерименті нижня та верхня межі можуть бути визначені відносно похибкою вимірального пристрою:  $z_{i,j,h,k}^- = z_{i,j,h,k} - z_{i,j,h,k} \cdot \mathcal{E}$  і  $z_{i,j,h,k}^+ = z_{i,j,h,k} + z_{i,j,h,k} \cdot \mathcal{E}$ , де  $z_{i,j,h,k}$  – вимірюване значення характеристики;  $\mathcal{E}$  – відносна похибка вимірювання.

Представлення експериментальних даних у інтервальному вигляді (1) доцільно у випадках: коли похибка вимірювання значно перевищує методологічні похибки та похибки моделювання, інтервали (1) встановлюють межі допуску відхилень модельованої характеристики об'єкта від номінальної, під умови відомих максимальних значень експериментальних похибок.

Далі необхідно визначити математичний об'єкт для представлення моделі об'єкта. У цьому випадку він обмежується дискретною лінійною моделлю наступного вигляду

$$v_{i,j,h,k} = \vec{f}^T \left( v_{i-d,j-d,h-d,k-d}, v_{i-d+1,j-d,h-d,k-d}, v_{i-1,j-1,h-1,k-1}, \vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k} \right) \cdot \vec{g},$$

$$i = d, \dots, I, \quad j = d, \dots, J, \quad h = d, \dots, H, \quad k = d, \dots, K \quad (2)$$

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

У результаті виконання процедури структурної ідентифікації визначається дискретна модель, зокрема: вектор основних функцій  $\vec{f}^T(\bullet)$ ; множини та розмірність векторів вхідних змінних (контролів)  $\vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}$ ,  $d$  – порядок дискретної моделі, який, як відомо, еквівалентний порядку диференціального рівняння, аналогічного дискретній моделі. Для реалізації дискретної моделі необхідно також задати початкові умови, тобто значення кожного елемента в наборі  $v_{0,0,0,0}, \dots, v_{d-1,d-1,d-1,d-1}, \vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}$  для певного дискретного, як правило початкового, і задати значення компонентів у векторі параметрів  $\vec{g}$ .

Якщо загальна форма дискретної моделі відома, наприклад, з фізичних міркувань, залишається ідентифікувати параметри  $\vec{g}$  таким чином, щоб забезпечити максимальну узгодженість змодельованої характеристики об'єкта з експериментально отриманими значеннями цієї характеристики. Це завдання називається задачею параметричної ідентифікації [1-3].

Основною проблемою використання цих методів є відсутність декларативного онтологічного опису, що не дозволяє розробляти програмні середовища як інструмент. З іншого боку, як видно з опису задачі ідентифікації, основною проблемою для її вирішення є формування набору потенційних структурних елементів моделі  $F = \{f_1(\vec{v}), f_2(\vec{v}), \dots, f_m(\vec{v})\}$  – різницевого (дискретного) рівняння, яке представляє математичну модель об'єкта. Цю проблему можна вирішити за допомогою онтологічного опису предметної області моделювання, тобто операційної онтології. Тому рішення цих проблем зменшить складність процедури моделювання та отримають адекватні моделі з гарантованими прогностичними властивостями.

### Підхід до використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів

На основі загального визначеного опису процесу моделювання на основі інтервального аналізу реалізовано онтологічну модель, особливості реалізації якої представлено у вигляді відповідної схеми (рисунк 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 1 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'яже 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 1 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 програмних інструментаріїв.

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 інтерпретації в конкретній системі.

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.

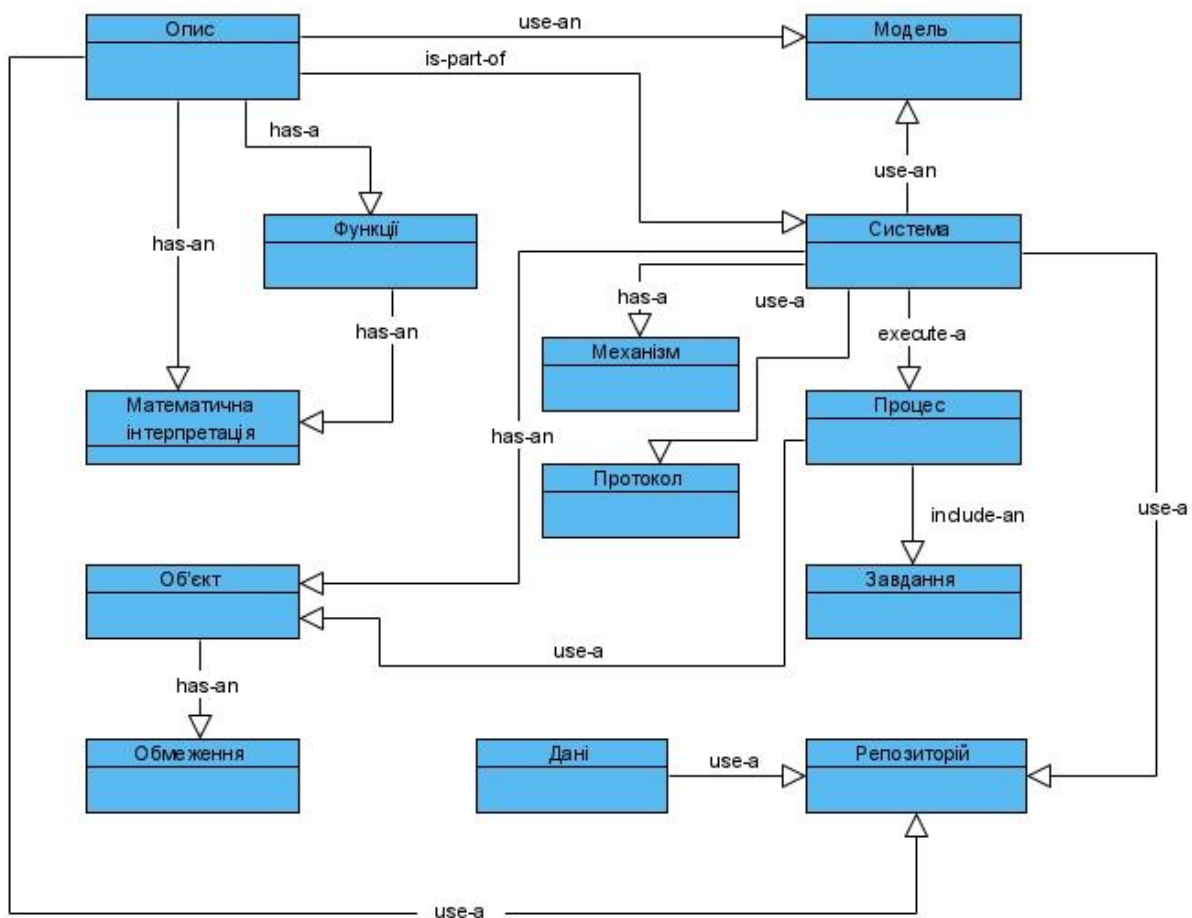


Рисунок 1 – Загальна схема використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів

На рисунку 2 представлено основні етапи процесу розробки програмної системи математичного моделювання з використання онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу.

Процес розробки онто-керованої 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 [7], напівавтоматичні, такі як [7], [8], та автоматичні, такі як [13]. 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.

б) 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.

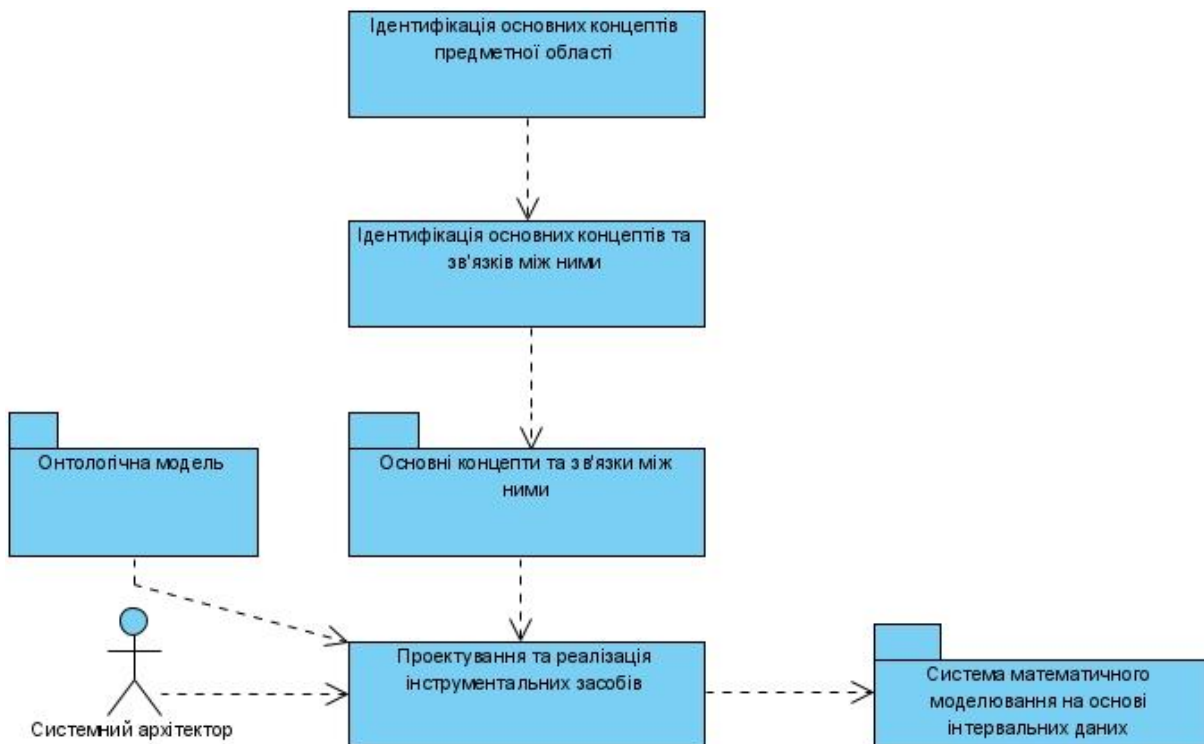


Рисунок 2 – Основні етапи процесу розробки програмної системи математичного моделювання з використання онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу

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 організований 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 3 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 [7,10].

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.
- 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.

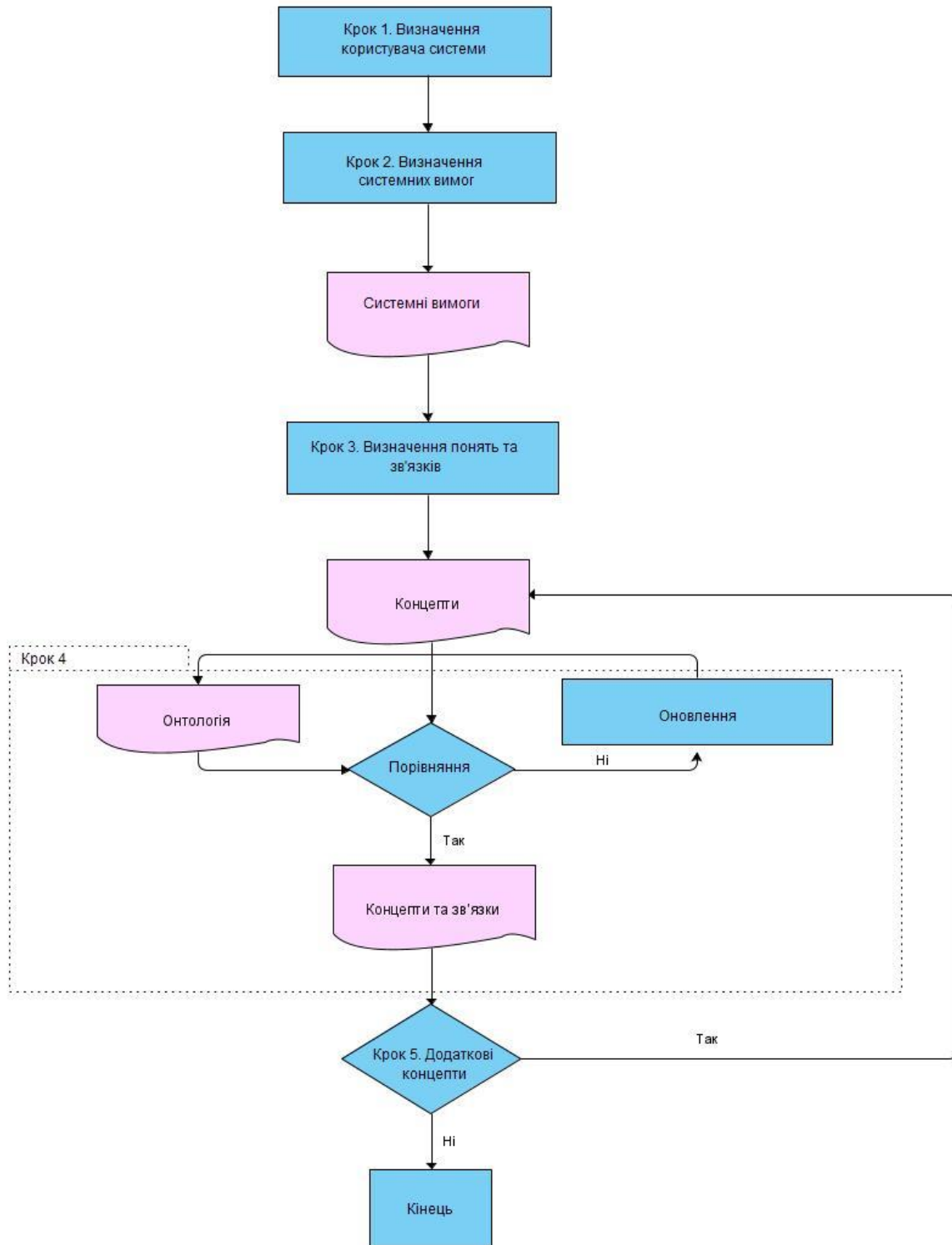


Рисунок 3 – Загальна схема використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних та її оновлення



Крок 5: Повторюємо крок 4 до того моменту, поки не розглянемо всі поняття, включаючи їх опис та відповідні зв'язки.

### Експериментальні дослідження

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 4.

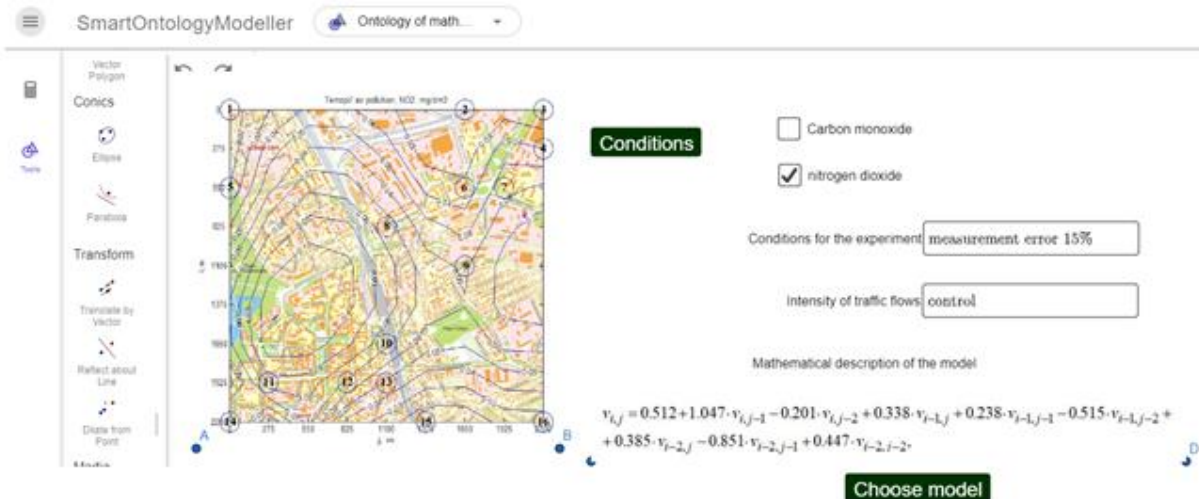


Рисунок 4 – Система для моделювання шкідливих викидів оксиду вуглецю на певній території міста

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 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 багатoshаровий 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.



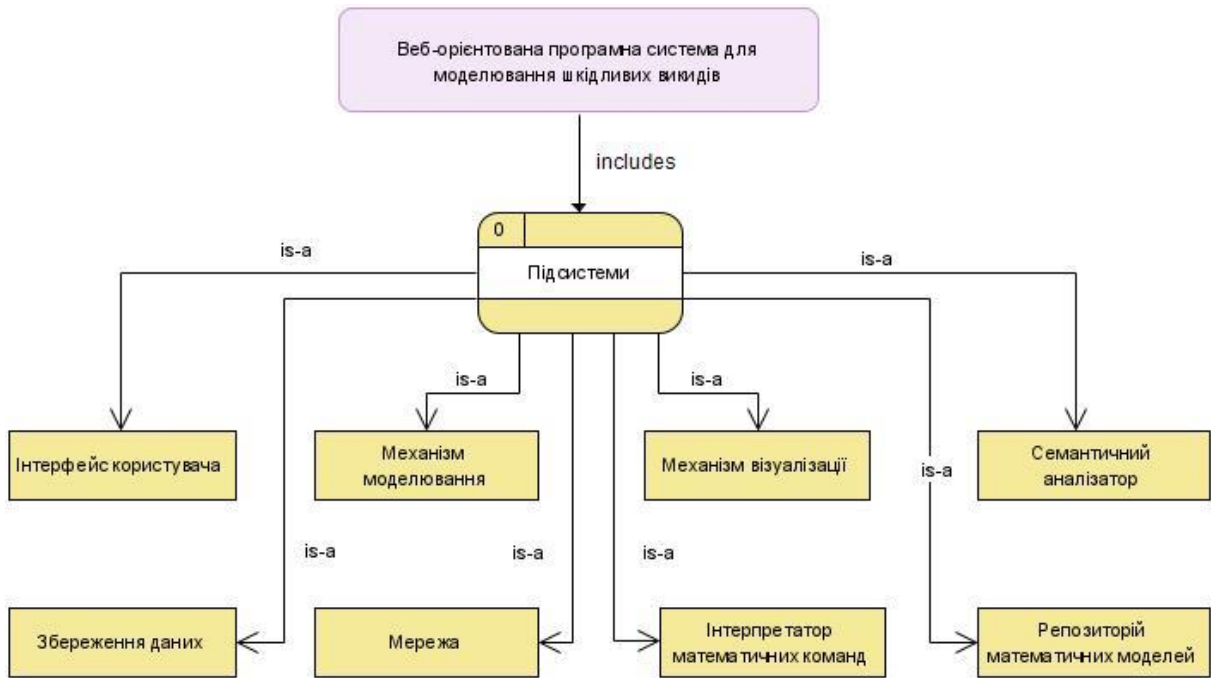


Рисунок 5 – Архітектура програмної системи для моделювання шкідливих викидів оксиду вуглецю на певній території міста

Розглянемо детальніше функції підсистем системи для моделювання шкідливих викидів оксиду вуглецю на певній території міста:

А. Функціями підсистеми «Інтерфейс користувача» (рисунок 6) 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.

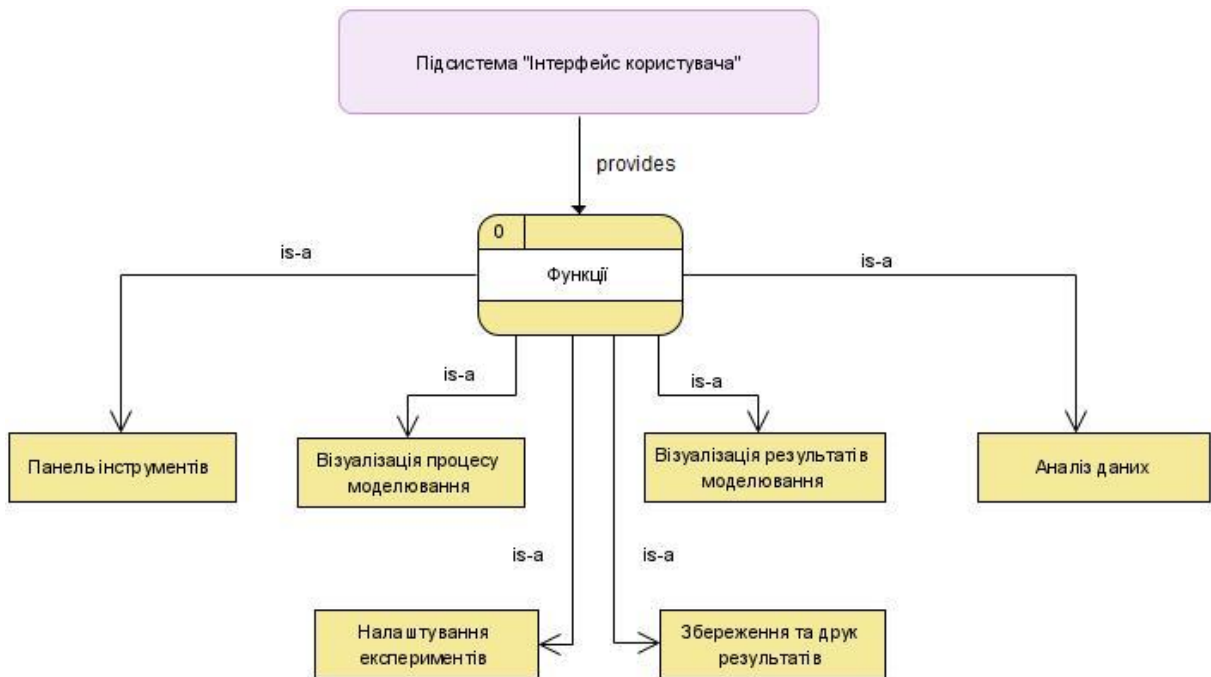


Рисунок 6 – Особливості підсистеми інтерфейсу користувача

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.
- 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.

F. Функція підсистеми «Збереження даних»:

1 – Можливість вибору типів файлів для збереження результатів моделювання.

G. 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.

H. Функція підсистеми «Збереження даних»:

1 – Зберігання різних даних, які пов'язані з сеансом 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 1.

Таблиця 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 2 представлено можливі типи зв'язків між цими об'єктами, що дозволяє встановити відповідні залежності для їх подальшого аналізу та використання.

Таблиця 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 1 та 2 можна побудувати онтологічний граф залежностей між поняттями для досліджуваної предметної області. Таке використання онтології дозволяє зпростити процес використання системи як окремими дослідниками в галузі математичного моделювання, так і розробниками програмного забезпечення, які будуть в подальшому масштабувати та розширювати функціонал системи.

#### Майбутні дослідження

Подальші дослідження в рамках запропонованих підходів будуть зосереджуватися на розробленні в межах теорії ідентифікації методах структурної та параметричної ідентифікації цих моделей на основі

аналізу інтервальних даних, використання онтологічних описів предметних областей для яких будуються моделі та оптимізаційних процедур на основі інтелектуальних обчислень, що використовують поведінкові моделі штучних бджолиних колоній.

Таке поєднання відомих підходів забезпечить підвищення ефективності обчислювальних процедур ідентифікації моделей складних об'єктів, а також адаптивне використання різнотипних моделей для різних предметних областей в системах підтримки прийняття рішень.

### Висновки

В роботі розкрито проблему 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 при забезпеченні її заданих прогностичних властивостей, розв'язування якої слугує поштовхом для розвитку прикладних досліджень у сферах оборони країни, охорони довкілля, медицини та інших галузях.

Описано підхід до використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів. Виходячи із запропонованого підходу, реалізовано схему використання онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних для розробки та використання програмних засобів. Особливістю запропонованого підходу є те, що він може бути реалізований як програмна надбудова до прикладних систем математичного моделювання на основі інтервального аналізу.

### Список літератури

- [1] М. П. Дивак, Н. П. Порплиця, Т. М. Дивак, *Ідентифікація дискретних моделей систем з розподіленими параметрами на основі аналізу інтервальних даних: монографія*. Тернопіль, Україна: Економічна думка ТНЕУ, 2018, 220 с.
- [2] М. П. Дивак, *Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними: монографія*. Тернопіль, Україна: Економічна думка ТНЕУ, 2011, 215 с.
- [3] М. П. Дивак, А. В. Пукас, Н. П. Парплиця, А. М. Мельник, *Прикладні задачі структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів: монографія*. Тернопіль, Україна: Університетська думка, 2021, 212 с.
- [4] H. Madala, A. Ivakhnenko, "Inductive Learning Algorithms for Complex Systems Modelling," Boca Raton: CRC Press. 1994.
- [5] A. Ivakhnenko, G. Ivakhnenko, "The Review of Problems Solvable by Algorithms of the Group Method of Data Handling (GMDH)," *Pattern Recognition and Image Analysis*, 5 (4), pp. 527–535. 1995.
- [6] A. Ivakhnenko, V. Lapa, "Cybernetics and Forecasting Techniques," *Modern Analytic and Computational Methods in Science and Mathematics*, v.8 ed. American Elsevier. 1967.
- [7] SW. Tu, H. Eriksson, JH. Gennari, Y. Shahar, MA. Musen, "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.*, 7(3), pp. 257-89. 1995. doi: 10.1016/0933-3657(95)00006-r. PMID: 7581625.
- [8] A. Sattar, E. Salwana, M. Surin, M. Ahmad, M. Ahmad, A. Mahmood, "Comparative Analysis of Methodologies for Domain Ontology Development: A Systematic Review," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 11(5). 2020. doi: 10.14569/IJACSA.2020.0110515.
- [9] M. Musen, "The protégé project. AI Matters," 1, pp. 4-12. 2015. doi: 10.1145/2757001.2757003.
- [10] U. Itziar, M. Nieto, M. García, O. Otaegui, "Design and Implementation of an Ontology for Semantic Labeling and Testing: Automotive Global Ontology (AGO)," *Applied Sciences*, 11, no. 17: 7782. 2021. doi: 10.3390/app11177782.
- [11] M. Dyvak, O. Papa, A. Melnyk, A. Pukas, N. Porplytsya, A. Rot, "Interval Model of the Efficiency of the Functioning of Information Web Resources for Services on Ecological Expertise," *Mathematics*, 8, 2116. 2020. doi: 10.3390/math8122116
- [12] O. Androshchuk, R. Berezenskyi, O. Lemeshko, A. Melnyk, O. Huhul, "Model of Explicit Knowledge Management in Organizational and Technical Systems," *International Journal of Computing*, 20(2), pp. 28-36. 2021.
- [13] A. Melnyk, R. Pasichnyk, "System of semantic classes for test's generation," in *2010 International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, 2010, pp. 206-206.
- [14] R. Pigazzi, C. Confalonieri, M. Rossoni, E. Gariboldi, G. Colombo, "Ontologies As a Tool for Design and Material Engineers," in *Proceedings of the ASME 2020 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Vol. 6: Design, Systems, and Complexity. Virtual, Online. <https://doi.org/10.1115/IMECE2020-24042>, 2020.

- [15] A. Kovbasisty, A. Melnyk, M. Dyvak, V. Brych and I. Spivak, "Method for detection of non-relevant and wrong information based on content analysis of web resources," *2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, 2017, pp. 154-156, doi: 10.1109/MEMSTECH.2017.7937555.
- [16] M. Dyvak, A. Melnyk and Y. Kedrin, "Interval model of the user reactions to messages in thematic groups of social networks," *2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 2022, pp. 837-840, doi: 10.1109/TCSET55632.2022.9766857.
- [17] M. Dyvak, A. Pukas, A. Melnyk, I. Voytyuk, S. Valchyshyn and I. Romanets, "Software Architecture for Modeling the Interval Static and Dynamic Objects," *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, 2021, pp. 572-575, doi: 10.1109/ACIT52158.2021.9548577.
- [18] S. Mazepa, S. Banakh, A. Melnyk, S. Pugach, O. Yavorska and N. Golota, "An Ontological Approach to Detecting Fake News in Online Media," *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, 2021, pp. 531-535, doi: 10.1109/ACIT52158.2021.9548394.
- [19] М. П. Дивак, А. М. Мельник, О. А. Папа, "Математичне та програмне забезпечення інтелектуального модуля прикладних програмних систем для надання адміністративних послуг щодо проведення екологічної експертизи," *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, 49(3), с. 66–76. 2020.
- [20] М. П. Дивак, А. М. Мельник, А. В. Ковбасистий, О. А. Папа, "Підхід до математичного моделювання ефективності web-ресурсів," *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, 38, 2 (Бер 2020), с. 29–37. 2020.

Стаття надійшла: 22.05.2022.

#### References

- [1] М. П. Dyvak, N. P. Porplytsia, T. M. Dyvak, *Identyfikatsiia dyskretnykh modelei system z rozpodilenyu parametramy na osnovi analizu intervalnykh danykh: monohrafiia*. Ternopil, Ukraina: Ekonomichna dumka TNEU, 2018, 220 s. [in Ukrainian].
- [2] М. П. Dyvak, *Zadachi matematychnoho modeliuвання statychnykh system z intervalnyu danymy: monohrafiia*. Ternopil, Ukraina: Ekonomichna dumka TNEU, 2011, 215 s. [in Ukrainian].
- [3] М. П. Dyvak, A. V. Pukas, N. P. Parplytsia, A. M. Melnyk, *Prykladni zadachi strukturnoi ta parametrychnoi identyfikatsii intervalnykh modelei skladnykh ob'ektiv: monohrafiia*. Ternopil, Ukraina: Universytetska dumka, 2021, 212 s. [in Ukrainian].
- [4] H. Madala, A. Ivakhnenko, "Inductive Learning Algorithms for Complex Systems Modelling," Boca Raton: CRC Press. 1994.
- [5] A. Ivakhnenko, G. Ivakhnenko, "The Review of Problems Solvable by Algorithms of the Group Method of Data Handling (GMDH)," *Pattern Recognition and Image Analysis*, 5 (4), pp. 527–535. 1995.
- [6] A. Ivakhnenko, V. Lapa, "Cybernetics and Forecasting Techniques," *Modern Analytic and Computational Methods in Science and Mathematics*, v.8 ed. American Elsevier. 1967.
- [7] SW. Tu, H. Eriksson, JH. Gennari, Y. Shahar, MA. Musen, "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.*, 7(3), pp. 257-89. 1995. doi: 10.1016/0933-3657(95)00006-r. PMID: 7581625.
- [8] A. Sattar, E. Salwana, M. Surin, M. Ahmad, M. Ahmad, A. Mahmood, "Comparative Analysis of Methodologies for Domain Ontology Development: A Systematic Review," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 11(5). 2020. doi: 10.14569/IJACSA.2020.0110515.
- [9] M. Musen, "The protégé project. AI Matters," 1, pp. 4-12. 2015. doi: 10.1145/2757001.2757003.
- [10] U. Itziar, M. Nieto, M. García, O. Otaegui, "Design and Implementation of an Ontology for Semantic Labeling and Testing: Automotive Global Ontology (AGO)," *Applied Sciences*, 11, no. 17: 7782. 2021. doi: 10.3390/app11177782.
- [11] M. Dyvak, O. Papa, A. Melnyk, A. Pukas, N. Porplytsya, A. Rot, "Interval Model of the Efficiency of the Functioning of Information Web Resources for Services on Ecological Expertise," *Mathematics*, 8, 2116. 2020. doi: 10.3390/math8122116
- [12] O. Androshchuk, R. Berezenskyi, O. Lemeshko, A. Melnyk, O. Huhul, "Model of Explicit Knowledge Management in Organizational and Technical Systems," *International Journal of Computing*, 20(2), pp. 28-36. 2021.
- [13] A. Melnyk, R. Pasichnyk, "System of semantic classes for test's generation," in *2010 International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, 2010, pp. 206-206.

- [14] R. Pigazzi, C. Confalonieri, M. Rossoni, E. Gariboldi, G. Colombo, "Ontologies As a Tool for Design and Material Engineers," in *Proceedings of the ASME 2020 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Vol. 6: Design, Systems, and Complexity. Virtual, Online. <https://doi.org/10.1115/IMECE2020-24042>, 2020.
- [15] A. Kovbasisty, A. Melnyk, M. Dyvak, V. Brych and I. Spivak, "Method for detection of non-relevant and wrong information based on content analysis of web resources," *2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, 2017, pp. 154-156, doi: 10.1109/MEMSTECH.2017.7937555.
- [16] M. Dyvak, A. Melnyk and Y. Kedrin, "Interval model of the user reactions to messages in thematic groups of social networks," *2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 2022, pp. 837-840, doi: 10.1109/TCSET55632.2022.9766857.
- [17] M. Dyvak, A. Pukas, A. Melnyk, I. Voytyuk, S. Valchyshyn and I. Romanets, "Software Architecture for Modeling the Interval Static and Dynamic Objects," *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, 2021, pp. 572-575, doi: 10.1109/ACIT52158.2021.9548577.
- [18] S. Mazepa, S. Banakh, A. Melnyk, S. Pugach, O. Yavorska and N. Golota, "An Ontological Approach to Detecting Fake News in Online Media," *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, 2021, pp. 531-535, doi: 10.1109/ACIT52158.2021.9548394.
- [19] M. P. Dyvak, A. M. Melnyk, O. A. Papa, "Matematychno ta prohramne zabezpechennia intelektualnoho moduliu prykladnykh prohramnykh system dlia nadannia administratyvnykh posluh shchodo provedennia ekolohichnoi ekspertyzy," *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia*, 49(3), s. 66–76. 2020 [in Ukrainian].
- [20] M. P. Dyvak, A. M. Melnyk, A. V. Kovbasisty, O. A. Papa, "Pidkhid do matematychnoho modeliuвання efektyvnosti web-resursiv," *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii*, 38, 2 (Ber 2020), s. 29–37. 2020 [in Ukrainian].

#### Відомості про авторів

**Мельник Андрій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук.

A. M. Melnyk

## ONTOLOGY AS A SOFTWARE ADDITION TO THE SYSTEM FOR MATHEMATICAL MODELING ON THE BASIS OF INTERVAL DATA

West Ukrainian National University, Ternopil