

**Сагайда П.І.**

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

**Костіков О.А.**

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

## АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДУ ВЕРИФІКАЦІЇ ОНТОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ КАТЕГОРІЙ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ СХОВИЩ ДАНИХ ТА ЗНАНЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Мета дослідження полягала у розробці формального методу та його алгоритмічного забезпечення для підтримки проектування інформаційних систем, здатних до інтелектуальної обробки даних на основі баз даних та знань, які інтегруються до складу таких систем. Для досягнення цієї мети було запропоновано використовувати категоріально-онтологічний підхід як метамову моделювання. Методологія дослідження передбачала застосування Unified Modeling Language (UML) для представлення загальної онтологічної моделі в категоріально-теоретичних термінах. Цей підхід дозволив накласти суворі математичні обмеження на об'єкти та морфізми категорії, що відповідають поняттям та відношенням у моделі предметної області. Завдяки використанню категоріально-онтологічного підходу стало можливим: формалізувати суб'єктивні рішення, прийняті в процесі інженерії знань; використовувати об'єкти теорії категорій як високорівневі шаблони проектування; забезпечити верифікацію результатів онтологічного моделювання. Розробка та використання відповідного алгоритмічного забезпечення показали, що категоріально-онтологічний підхід є перспективним інструментом для розробки ефективних інформаційних систем, оскільки він забезпечує формальну основу для моделювання та проектування, а також сприяє підвищенню якості та надійності розробок. Алгоритм, наведений в роботі, дозволяє автоматизувати складний етап моделювання предметних областей, на якому відбувається перетворення категоріально-онтологічної моделі у діаграми класів UML для подальшої формалізації результатів концептуального проектування інформаційної системи. Введення та обґрунтування обмежень для об'єктів теорії категорій на комутативних діаграмах для розроблених категоріально-онтологічних моделей дозволило довести існування та унікальність морфізмів, що обумовлюють несуперечливість онтологічної моделі та необхідність введених у моделі концептів та зв'язків між ними, а також досяжність результатів відображень та перетворень, описаних цією моделлю.

**Ключові слова:** категоріально-онтологічний підхід, Unified Modeling Language, інформаційні системи, інтелектуальна обробка даних, верифікація.

**Постановка проблеми.** Сучасні підприємства та організації потребують впровадження, за результатами відповідної розробки та дослідження, ефективних методів проектування інформаційних систем, здатних до інтелектуальної обробки даних [1, 2]. Необхідно залучати до процесу проектування фахівців предметної області, які, хоча й не мають глибоких знань в ІТ, володіють цінною експертизою та можуть сформулювати базову модель предметної області у вигляді тезауруса або онтології [3]. Співпраця фахівців предметної області та інженерів знань є критично важливою для успішного проектування системи. Фахівці предметної області надають глибоке розуміння своєї галузі, а інженери знань перетворюють ці знання в формальну модель.

На даний момент розроблено ряд рекомендацій для ефективного концептуального моделювання [4, 5], однак існуючі підходи до створення таких систем часто базуються на інтуїції та досвіді фахівців, що може призводити до суб'єктивних оцінок та труднощів у верифікації результатів.

Для вирішення цієї проблеми необхідно застосувати єдиний, формалізований метод проектування, заснований на міцній математичній основі. Такий підхід дозволить забезпечити доказовість та об'єктивність результатів, а також полегшить співпрацю фахівців з різних галузей та аспектів проектування.

Одним із перспективних напрямків для цього є застосування теорії категорій. Цей розділ мате-

матики пропонує потужний інструментарій для формалізації знань та побудови абстрактних моделей [6, 7]. Використання теорії категорій дозволить створювати більш точні та наочні моделі предметних областей, а також здійснювати строгу верифікацію концептуальних моделей. Крім того, теорія ескізів, як розвиток теорії категорій, дозволяє представляти математичні конструкції у вигляді графів та діаграм [8-10]. Це значно спрощує розуміння моделей навіть для фахівців, які не мають глибоких знань математики. Такий візуальний підхід до моделювання сприяє ефективній комунікації між членами проектної команди та замовниками.

Таким чином, використання теорії категорій та теорії ескізів дозволить забезпечити потрібний рівень формалізації та точності у процесі проектування інформаційних систем, що, в свою чергу, призведе до підвищення якості та надійності розробок.

**Постановка завдання.** Об'єктом дослідження є розробка алгоритмічного забезпечення універсального методу проектування інформаційних систем, здатних до інтелектуальної обробки даних. Цей метод базується на категоріально-онтологічному підході, розробленому у [11], і дозволяє забезпечити послідовність і верифікованість етапів концептуального проектування сховищ даних та знань інформаційних систем. На цих етапах відсутній єдиний, строго формалізований метод проектування інформаційних систем. На сьогоднішній день різні команди розробників використовують різноманітні методики та технології, що ускладнює співпрацю та іноді призводить до семантичних бар'єрів між ними. Потрібен наскрізний метод, який підходить для командної роботи над проектами та спрощує обмін знаннями як серед учасників команд, так і з замовниками та експертами в предметній області [12].

**Мета дослідження** полягає у створенні відповідного алгоритмічного забезпечення такого методу. Його використання дозволить об'єднати зусилля аналітиків, розробників та замовників з використанням формальної основи для опису предметної області, а також надати засоби для верифікації та валідації розроблених часткових онтологічних моделей.

Для досягнення поставленої мети необхідно: проаналізувати існуючі підходи, визначити їх сильні та слабкі сторони, а також можливості інтеграції; запропонувати формальний алгоритм для перевірки правильності та повноти онтологічних моделей; застосувати для цього теорію категорій, а саме – використати математичний апарат теорії

категорій для верифікації абстрактних моделей предметних областей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Традиційні підходи до концептуального моделювання та проектування сховищ даних та знань інформаційних систем можна віднести до таких, що формалізують, в основному, підхід, орієнтований на формалізацію атрибутів (властивостей). Прикладами його є технологія з використанням діаграм «сутність-відношення-атрибут» (ERA) [13] і технологія Anchor [14]. Технологіями моделювання більш високого рівня абстракції є модель Entity-Relationship Diagrams (ERD) [15], і фреймворк Semantic Web, Resource Description Framework (RDF) [16].

Історично склалося так, що однією з перших технологій моделювання предметних областей та програмного забезпечення стала реалізація об'єктно-рольового моделювання (ORM). На основі ORM була розроблена технологія Integration DEFinition for Information modeling (IDEF1X), яка є невід'ємною частиною сімейства методів діаграм IDEF, яка використовується для формалізації різних аспектів Про. Результатом злиття декількох схожих підходів до моделювання і формалізації, а також проектування апаратних і програмних комплексів стала технологія моделювання Unified Modeling Language (UML) [17], яка надає широкі можливості для моделювання класів, їх екземплярів і відносин між ними. Однак для представлення бізнес-правил і алгоритмів взаємодії в об'єктах знадобилося розробити спеціалізовану мову на основі UML-діаграм - Object Constraint Language (OCL) [17]. Застосування OCL дозволило використовувати для цієї мети вирази, близькі за виразом до логіки першого порядку, але специфічні і складні з точки зору фахівців в Про.

Для підвищення рівня абстракції при моделюванні та автоматизації розробки ІС в останні роки розроблена і впроваджується ініціатива Meta-Object Facility (MOF) [18]. MOF передбачає використання стандарту для розробки на основі моделі, підготовленого Object Management Group на основі UML. Аналіз показує, що даний підхід є метамоделлю над UML і не має інших корисних властивостей для задач, що вирішуються в даній роботі.

В якості основи для методу, який розглядається в даній роботі, застосовуються технології, засновані на категоріальному підході до моделювання Про, так як цей підхід дозволяє верифікувати інформаційні моделі, що зазвичай виражають суб'єктивну точку зору їх авторів, на основі формального математичного апарату. До цих тех-

нологій, заснованих як на представленні атрибутів, так і на підході теорії категорій, відносяться Olog Diagrams [7] і Sketches, які є розвитком технології ERA [13]. Авторами цих технологій розроблені мови і засоби автоматизації отримання схем баз даних з діаграм відповідно Algebraic Query Language (AQL) і Graphical modeling of EA sketches and views (EASIC).

Недоліком цих технологій, незважаючи на деякі елементи онтологічного моделювання, є відсутність в їх складі засобів для представлення правил верифікації складних онтологічних моделей підприємств і організацій.

**Виклад основного матеріалу.** Як було вказано, часткова онтологічна модель є суб'єктивною й на практиці наразі математично не верифікується. У роботі застосовано підхід категоріально-онтологічного (КО) моделювання, що реалізує побудову онтологічних моделей, які верифікуються на основі теорії категорій і скетчів. Метод побудови онтологічних моделей, представлених у нотації діаграми класів UML та верифікованих на основі теорії категорій, сформульовано далі у вигляді алгоритму відповідних перетворень. Етапи реалізації методу, у вигляді діаграми SADT, наведено на рис. 1.

Цей метод передбачає використання теорії категорій для формалізації знань про предметну область і створення онтологічних моделей. На діаграмі SADT (рисунок 1) наведено наступні елементи.

Відомості про ПрО: вхідні дані для процесу моделювання, які включають інформацію про предметну область, для якої створюється модель.

Онтологічне моделювання ПрО: активність, яка перетворює вихідні дані про предметну область в онтологічну модель.

Часткова онтологічна модель: проміжний результат процесу моделювання, який представляє частину повної онтологічної моделі, отриману від аналітика-проектувальника; вона відображає аспект розгляду предметної області та суб'єктивні знання аналітика.

Категоріально-онтологічне (КО) моделювання ПрО: активність, яка використовує методи теорії категорій та її топологічні шаблони для формалізації онтологічної моделі.

КО-модель ПрО: кінцевий результат процесу моделювання, який представляє формалізовану онтологічну модель в термінах теорії категорій.

Верифікація онтологічної моделі: активність, яка перевіряє коректність і повноту отриманої онтологічної моделі з урахуванням отриманої КО-моделі, за відповідним алгоритмом відображення.

Алгоритм відображення концептів і зв'язків: набір правил, який дозволяє перевести онтологічну модель в формат, зручний для подальшої обробки (наприклад, у вигляді UML-діаграми).

Символьна модель у форматі UML: кінцевий результат процесу перетворення онтологічної моделі в у вдосконалений її варіант, верифікова-

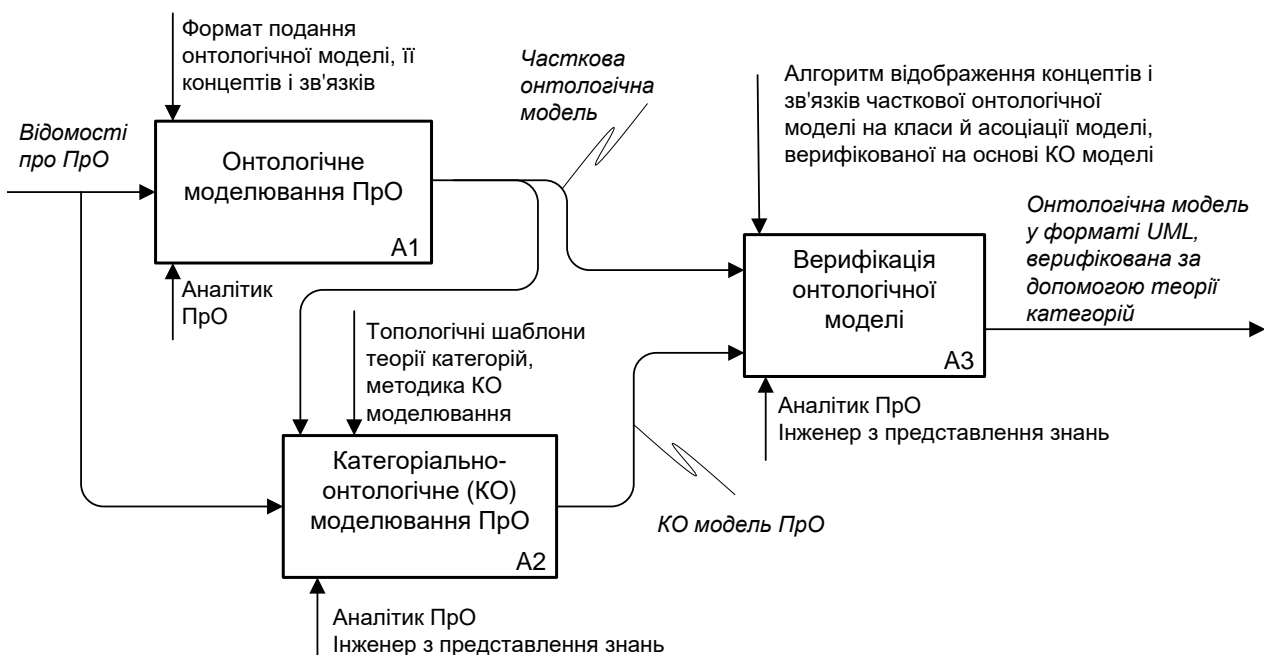


Рис. 1. SADT-діаграма етапів реалізації методу побудови онтологічних моделей, верифікованих на основі теорії категорій

ний на основі об'єктів, морфізмів та теорем теорії категорій, у форматі подання, зрозумілому розробникам бази даних та знань або інформаційної системи.

Таким чином, можна сформулювати основні етапи процесу побудови онтологічних моделей, верифікованих на основі теорії категорій:

1. Збір інформації про предметну область: на цьому етапі збираються всі необхідні дані про предметну область, для якої створюється модель.

2. Побудова часткової онтологічної моделі: на основі зібраних даних створюється початкова версія онтологічної моделі.

3. Формалізація за допомогою теорії категорій: часткова модель трансформується в категоріальну модель, з урахуванням відомостей про предметну область, зібраних на першому етапі.

4. Верифікація моделі: проводиться перевірка коректності та повноти часткової онтологічної моделі на основі категоріального представлення відомостей про предметну область; також виконується перевірка категоріальної моделі з точки зору урахування всіх сутностей та зв'язків між ними (це може вимагати декількох ітерацій з взаємним узгодженням вмісту обох моделей); додаються або трансформуються, за необхідності, елементи часткової онтологічної моделі, таким чином, щоб вони відповідали відомостям про предметну область та топологічним шаблонам побудованої категоріальної моделі.

5. Перетворення в UML: категоріально-онтологічна модель, тобто онтологічна модель, узгоджена з категоріальною моделлю, переводиться в формат UML для подальшого використання в процесі розробки інформаційного та програмного забезпечення.

Для реалізації розробленого підходу було проведено глибокий та докладний аналіз етапу перетворення категоріально-онтологічної моделі, тобто моделі, побудованої аналітиками на основі відомостей про предметну область та методик використання топологічних шаблонів теорії категорій, в модель нотації UML. Ця модель на етапі верифікації (активність А3 на рисунку 1) власне і використовується для перевірки якості часткової онтологічної моделі, побудованої розробниками баз даних та знань інформаційної системи. Етап, який буде докладно розглянуто в даній роботі, є визначальним з точки зору якості проектування інформаційних систем, оскільки забезпечує адекватність результатів концептуального моделювання та узгодженість моделей для відповідної ефективної реалізації.

За результатами розробки та вивчення процесу побудови КО-моделі в форматі подання UML був розроблений узагальнений алгоритм. Його реалізація дозволяє верифікувати загальну онтологічну модель на основі положень, аксіом та теорем теорії категорій (ТК). Компоненти алгоритму, що описують окремі етапи відображення елементів моделі, показані на рисунку 2.

Для розробленого алгоритму, крім розглянутих раніше термінів і об'єктів, необхідно пояснити наступний момент. Визначення класів-асоціацій виконується на основі об'єктів ТК pullbacks, products, equalizers, cones, що входять у множину лімітів,  $\lim_{O \in Obj_{\Gamma}} \Gamma(O)$  і об'єктів ТК pushouts, coproduct, coequalizer, cocones, що входять в множину колімітів  $\text{colim}_{O \in Obj_{\Gamma}} \Gamma(O)$ , для яких  $\text{Lim}_{\Gamma} = \left\langle \lim_{O \in Obj_{\Gamma}} \Gamma(O), \text{colim}_{O \in Obj_{\Gamma}} \Gamma(O) \right\rangle$ , і кожен такий об'єкт задовольняє вимозі:

$$L \cong \langle O_L \subseteq Obj_{\Gamma}, \mu_L \subseteq Hom_{\Gamma} \mid \forall O_L \subseteq \{dom(\mu_L) \cup cod(\mu_L)\} \rangle \in \text{Lim}_{\Gamma}. \quad (1)$$

Твердження, що використовуються в наведеному алгоритмі, вводяться та обґрунтовуються на основі положень, визначень та лем ТК [6, 7, 9]. Введення та обґрунтування обмежень для об'єктів ТК на комутативних діаграмах для розроблених КО-моделей дозволило довести існування та унікальність морфізмів, що обумовлюють несуперечливість онтологічної моделі та необхідність введених у моделі концептів та зв'язків між ними, а також досяжність результатів відображень та перетворень, описаних цією моделлю.

**Обговорення результатів.** В результаті застосування запропонованого методу та розробленого для його реалізації алгоритмічного забезпечення були подолані деякі семантичні і лінгвістичні бар'єри між розробниками під час проектування ІС. Замовники, аналітики та розробники мають можливість використовувати наскрізний метод, придатний для колективної роботи та обміну знаннями, який є зрозумілим та об'єктивним з точки зору доказовості та валідності моделей. Цей метод може бути використаний для повного комплексу науково-дослідних і проектних робіт, незалежно від форматів представлення даних і схематичних прийомів формалізації знань ПрО. Категоріально-онтологічний підхід до моделювання та проектування дає можливість формально обґрунтовувати суб'єктивні результати інженерії знань та використовувати об'єкти теорії категорій у вигляді шаблонів проектування на високому рівні абстракції [19].

Особливістю розробленого методу є підвищення вимог до рівня абстрактного мислення аналітиків, що займаються онтологічним моделюванням ПрО. При використанні розробленого



```

Input: // General ontological model; Categorical-ontological model
PrivateOntology =  $\langle \text{Concepts}, \text{Relations} \rangle$ ; COModel =  $\langle \text{Obj}_T, \text{Hom}_T, \text{Lim}_T \rangle$ ;
Output: // Verified ontological model in the form of an UML class diagram
VerifiedOntology =  $\langle \text{Classes}, \text{Links}, \text{PartConstraints}, \text{Attributes} \rangle \cong \text{UML}$ ;
begin
  Classes = {}; Links = {}; PartConstraints = {}; Attributes = {};
  // Verification and addition to the resulting model of all concepts
  // from the CO model and connections generation based on morphisms
  for all  $O \in \text{Obj}_T$  in COModel do
    for all  $C \in \text{Concepts}$  in PrivateOntology do
      if not  $O \cong C$  then  $C = \text{create}(O)$  as Concept;
      Classes = Classes  $\cup C$ ;
      for all  $\mu \in \text{Hom}_T$  in COModel do
        if not  $\exists C \cong \text{dom}(\mu)$  then  $C_{\text{Dom}} = \text{createDomain}(\mu)$  as Concept;
        if not  $\exists C \cong \text{cod}(\mu)$  then  $C_{\text{Cod}} = \text{createCodomain}(\mu)$  as Concept;
        Classes = Classes  $\cup C_{\text{Dom}} \cup C_{\text{Cod}}$ ;
        Links = Links  $\cup (\mu \text{ as Link})$ ;
      end for;
    end for;
  end for;

  // Definition of classes-associations based on limits and colimits in the CO model
  for all  $L \in \text{Lim}_T$  in COModel do
    for all  $C \in \text{Concepts}$  in PrivateOntology do
      if not  $L \cong C$  then  $C_{As} = \text{createClassAssociation}(L)$  as Concept;
      Classes = Classes  $\cup C_{As}$ ;
      for all  $R \in \text{Links}$  in VerifiedOntology do
        if not  $\text{isPartOf}(C_{As}, R)$  and  $\text{Domain}(R) \cup \text{Range}(R) \cap \text{dom}(\mu_L) \cup \text{cod}(\mu_L) \neq \emptyset$ 
          then  $R = \text{completeAssociation}(C_{As}, R)$ ;
        end for;
      end for;
    end for;

  // Search and exclusion of connections from the resulting model that do not satisfy
  // the laws of commutativity and composition according to the CO model;
  for all  $R_i, R_j, R_q \in \text{Links}$  in VerifiedOntology do
    for all  $\mu_m, \mu_n, \mu_k \in \text{Hom}_T$  in COModel do
      if  $(R_i \cong \mu_m, R_j \cong \mu_n, R_q = R_j \circ R_i, \mu_k = \mu_n \circ \mu_m)$  and  $R_q \not\cong \mu_k$  then Links = Links  $\setminus \{R_q\}$ ;
    end for;
  end for;

  // Finding and excluding classes from the resulting model that are aggregations of
  // previously entered classes and relations, or for which no relations are established
  for all  $\langle C_i, C_j, C_q \rangle \in \text{Classes}$  in VerifiedOntology do
    for all  $R \in \text{Links}$  in VerifiedOntology do
      if  $C_i \cong \langle \{C_j = \text{Range}(R), C_q = \text{Domain}(R)\}; R \rangle$  then Classes = Classes  $\setminus \{C_i\}$ ;
      if not  $C_j = \text{Range}(R)$  or  $C_q = \text{Domain}(R)$  then Classes = Classes  $\setminus \{C_j\}$ ;
    end for;
  end for;

  // Imposing restrictions on the type of relations in the UML model and restrictions
  // on the participation cardinality of the class instances in relationships
  for all  $R \in \text{Links}$  in VerifiedOntology do
    for all  $C \in \text{Concepts}$  in PrivateOntology do
      if  $\text{isParticipant}(R, C)$  then begin
         $PC = \text{createPartConstraint}(R, C, \text{PrivateOntology}, \text{COModel})$ ;
        PartConstraints = PartConstraints  $\cup PC$ ; end;
    end for;
  end for;

  // Mapping the corresponding objects of the CO model into class attributes
  // in the UML model
  for all  $C \in \text{Concepts}$  in PrivateOntology do
    for all  $Cl \in \text{Classes}$  in VerifiedOntology do
      if  $\text{isAttributeOf}(C, Cl)$  then begin
         $At = \text{createAttributeOf}(C, Cl, \text{PrivateOntology}, \text{COModel})$ ;
        Attributes = Attributes  $\cup At$ ; end;
    end for;
  end for;
  return (VerifiedOntology  $\cong$  UML);
end

```

Рис. 2. Алгоритм побудови діаграми класів і відношень в UML на основі категоріально-онтологічної моделі, що дозволяє верифікувати загальну онтологічну модель шляхом застосування теорії категорій

методу вони повинні оволодіти математичними основами теорії категорій і ескізів та навичками використання своїх положень при представленні результатів інженерії знань. Як і в будь-якому способі формалізації знань, якісні результати можуть бути отримані тільки на основі досвіду тривалого практичного застосування розробленого методу.

Додатковими можливостями, що виникають при досягненні мети даного дослідження, є вирішення проблем інтелектуалізації комп'ютерних систем, підвищення якості розробки та ефективності використання таких систем на основі методів інженерії знань. Це дозволяє розробляти продуктивні ІС, які виконують завдання оперативної та аналітичної обробки даних, ефективної інженерії знань та вилучення адекватних моделей з наборів даних. Складові таких ІС впроваджені на ряді промислових підприємств, у наукову діяльність та освітній процес [11, 12].

Труднощі застосування отриманих результатів в дослідженні результатів пов'язані з наступним фактором. Фахівці, які застосовують відповідну методику проектування протягом тривалого часу і отримують задовільні результати, можуть мати відповідні упередження до запропонованого методу і сумніватися в його практичній корисності. Разом з тим, зростаюча складність ІС і масштабу вирішуваних з їх допомогою завдань, зростаюча конкуренція в області інформаційних технологій, вимагають розробки нових підходів до проектування, заснованих на сучасних досягненнях наукової думки.

**Висновки.** Проведено порівняльне дослідження підходів і методів, що використовуються при концептуальному проектуванні інформаційних систем. Визначено, що моделі, створені на різних етапах проектування та з використанням різних методик, не дозволяють виконати їх відображення без втрат. Така ситуація вимагає розробки і застосування методу, придатного для колективної роботи і обміну знаннями, що інтегрує існуючі методи і базується на єдиному математичному апараті.

Розроблено алгоритмічне забезпечення методу проектування інформаційних систем для розв'язання задач обробки та аналізу даних на основі категоріально-онтологічних моделей. В результаті розробки і застосування даного методу були подолані семантичні і лінгвістичні бар'єри, що виникають між членами проектною команди при проектуванні ІС. Використання категоріально-онтологічного підходу до моделювання та проектування дає можливість формально обґрунтувати суб'єктивні результати інженерії знань та використовувати об'єкти теорії категорій у вигляді шаблонів проектування на високому рівні абстракції. Алгоритм, наведений в роботі, дозволяє автоматизувати складний етап моделювання предметних областей, на якому відбувається перетворення категоріально-онтологічної моделі у діаграми класів UML для подальшої формалізації результатів концептуального проектування інформаційної системи.

#### Список літератури:

1. Business intelligence and analytics: systems for decision support. In: R. Sharda at al. (Eds.). London, UK: Pearson Education, 2014.
2. Data mining: practical machine learning tools and techniques. In: Witten, I. H., Eibe, F. (Eds.). Burlington: Morgan Kaufmann Publishers, 2005.
3. Gruber T. A translation approach to portable ontologies. URL : <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>.
4. Guizzardi G. Ontological Foundations for Structural Conceptual Models. Veenendaal, The Netherlands, Universal Press, 2005.
5. Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Corcho O. Ontological engineering. Springer, 2004.
6. Walter R.F.C. Categories and Computer Science. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1991.
7. Spivak D. I. Category theory for the sciences. MIT Press, 2014.
8. Wells C. Sketches: Outline with References. URL : <http://www.cwru.edu/artsci/math/wells/pub/pdf/Sketch.pdf>.
9. Barr M. Models of sketches. *Cashiers Topologie Geom. Differentielle*. 1986. Vol. 27. P. 93–107.
10. Wells, C.: A generalization of the concept of sketch. *Theoretical Computer Science*. 1990. Vol. 70 (1). P. 159–178.
11. Сагайда П.І. Алгоритмічні засоби та програмні компоненти комп'ютерних систем інтелектуальної обробки даних в організаційно-технічних комплексах : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.05. Покровськ, 2018. 541 с.
12. Sahaida P. Development of methodology for data and knowledge warehouse design in computer systems for intellectual data processing. *Technology audit and production reserves: Information and Control Systems*. 2018. Vol. 1, No 2(39), P. 10–15.
13. Johnson, M., Rosebrugh, R., Wood, R. J. Entity-relationship-attribute designs and sketches. *Theory and Applications of Categories*. 2002. Vol. 10 (3). P. 94–112.

14. About Anchor Modeling. URL : <http://www.anchor modeling.com>.
15. Date C. J. An Introduction to Database Systems. Ed. 8. Pearson, 2003.
16. Ontology Management: Semantic Web, Semantic Web Services, and Business Applications / Eds. M. Hepp at al. Springer, 2007.
17. Larman C. Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development. Addison Wesley Professional, 2004.
18. ISO/IEC 19502:2005. Information technology – Meta Object Facility (MOF). URL : [http://webstore.iec.ch/preview/info\\_isoiec19502%7Bed1.0%7Den.pdf](http://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec19502%7Bed1.0%7Den.pdf).
19. Tarasov O., Sahaïda P., Podlesny S., Vasyliëva L. Categorical-ontological approach to information support of educational activities. *Conference on History, Theory and Methodology of Learning: 3rd International (ICHTML 2022)*, Kryvyi Rih, Ukraine, SHS Web Conf., 2022. Vol. 142. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/202214203005>.

**Sahaïda P.I., Kostikov O.A. ALGORITHMS FOR THE VERIFICATION METHOD OF THE ONTOLOGICAL MODEL USING CATEGORY THEORY DURING THE DESIGN OF DATA AND KNOWLEDGE WAREHOUSES OF INFORMATION SYSTEMS**

*The purpose of the study was to develop a formal method and its algorithms to support the design of information systems capable of intelligent data processing based on databases and knowledge that are integrated into such systems. To achieve this goal, it was proposed to use the categorical-ontological approach as a modeling metalanguage. The research methodology involved the use of the Unified Modeling Language (UML) to represent the general ontological model in categorical-theoretical terms. This approach allowed imposing strict mathematical constraints on the objects and morphisms of the category corresponding to the concepts and relations in the subject domain model. Thanks to the use of the categorical-ontological approach, it became possible to: formalize subjective decisions made in the process of knowledge engineering; use category theory objects as high-level design templates; ensure verification of the results of subjective ontological modeling. The development and use of the corresponding algorithmic support showed that the categorical-ontological approach is a promising tool for the development of effective information systems, since it provides a formal basis for modeling and design, and also contributes to improving the quality and reliability of developments. The algorithm presented in the work allows you to automate the complex stage of modeling subject areas, at which the categorical-ontological model is transformed into UML class diagrams for further formalization of the results of the conceptual design of the information system. The introduction and justification of restrictions for category theory objects on commutative diagrams for the developed categorical-ontological models made it possible to prove the existence and uniqueness of morphisms that determine the consistency of the ontological model and the necessity of the concepts introduced into the model and the connections between them, as well as the accessibility of the results of the mappings and transformations described by this model.*

**Key words:** categorical-ontological approach, Unified Modeling Language, information systems, intelligent data processing, verification.