

# ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ ТА АНАЛІЗУ МОДЕЛЕЙ ПРЕДМЕТНИХ ОБЛАСТЕЙ ДЛЯ ЇХ ВИВЧЕННЯ

*В.В. Любченко*

Одеський національний політехнічний університет,  
65044, м. Одеса, проспект Шевченка, 1, тел.: (048) 734 8566, lvv@edu.opu.ua

У роботі описана інформаційна технологія розробки та аналізу моделей предметних областей для їх вивчення. Визначені базові поняття інформаційної технології – абстракція, асоціація та адаптація, на основі яких будуються інформаційна модель, змістовна модель та асоціативна карта предметної області. Описано їх застосування з метою оцінювання якості моделей предметних областей.

The paper describes the information technology of domain models design and analysis for their study. The basic concepts of information technology – abstraction, association and adaptation – are defined. Domain information model, domain content model and domain associative map are built on basis of basic concepts. Using of these models for assessing the quality of the domain model is described.

## Вступ

Процес навчання є інформаційним процесом формування знань у об'єкта навчання під керуванням суб'єкту навчання. Предметом вивчення в цьому процесі завжди є визначена предметна область. Очевидно, що для швидкого і якісного її вивчення потрібна спеціально організована модель предметної області, яка стає основою для розробки і організації навчального матеріалу.

Оскільки інформація, передана в процесі навчання, засвоюється тим краще, чим краще вона структурована, то в процесі навчання слід виявити і акцентувати увагу на притаманній матеріалу структурі. Структурований матеріал дозволяє полегшити забезпечення повноти навчального матеріалу, забезпечує якість і чіткість викладання, полегшує розуміння і засвоєння матеріалу об'єктами навчання. До того ж інформація запам'ятовується тим краще, чим більше сенсу в ній бачить об'єкт навчання. Це забезпечується наявністю асоціативних зв'язків між елементами навчального матеріалу.

Тому представляється доцільною розробка нової інформаційної технології, яка забезпечує формалізацію та уніфікацію процесу розробки та аналізу моделі предметної області, що приводить до скорочення часу розробки і підвищення якості отриманого продукту. Її основу утворює технологія  $A^3$  розробки моделі предметної області, ключовими поняттями якої є *абстракція*, *асоціація* та *адаптація* [1].

## 1. Абстракція – $A_1$

Якість процесу опису предметної області забезпечується якісним плануванням програми навчання, для якої розробляється модель предметної області, та якісним проектуванням та описом інформаційної моделі предметної області. Ключову роль при проектуванні структури навчального матеріалу відіграє моделювання предметних областей на основі абстракції.

*Абстракція* – це виділення істотних властивостей і зв'язків об'єктів у даній категорії сутностей і відволікання від їх інших властивостей і зв'язків, які визнаються несуттєвими. Абстракція дозволяє формалізувати процес будування інформаційної моделі предметної області, основу якої утворюють навчальні цілі та навчальні концепти.

У роботі [2] показано, що для моделювання предметної області, що вивчається, слід застосовувати онтологічну модель представлення знань. Цей висновок ґрунтується на чотирьох властивостях моделі:

- можливість представляти елементи знань із різним рівнем абстракції за рахунок використання метакласів та механізму спадкування;
- універсальність подання знань із різних предметних областей за рахунок того, що структура онтології не прив'язується до особливостей предметної області, а визначається властивостями модельованих понять;
- природність подання знань за рахунок того, що кожний клас онтології відповідає поняттю предметної області, в термінах яких мислить автор моделі;
- можливість опису цілей засобами самої моделі без необхідності використання додаткових алгоритмів і засобів.

Додатково слід звернути увагу на той факт, що при використанні онтологічної моделі забезпечується цілісне подання предметної області, що спрощує її розуміння при вивченні.

Щоб розробити інформаційну модель предметної області на основі онтології потрібно створити таксономію понять, яка описує базові поняття предметної області, та множину аксіом, які формально обмежують семантику таксономії понять на основі пояснень. При розробці змісту предмету вивчення (визначенні предметної області) обов'язково з'ясовують його внутрішню логіку, для чого

- визначають цілі навчання – результати, уміння і рівень компетентності, очікувані від об'єктів

навчання по завершенню вивчення предметної області;

- визначають навчальні концепти, які утворюють модель предметної області – конструкції, які описують всі об'єкти в цій категорії або класі сутностей, їх взаємодії, властивості і зв'язки між ними;
- визначають зв'язки між навчальними концептами.

Таким чином, слід виокремити поняття «предмет вивчення», «навчальна ціль» та «навчальний концепт». Відповідна таксономія понять показана на рис. 1.

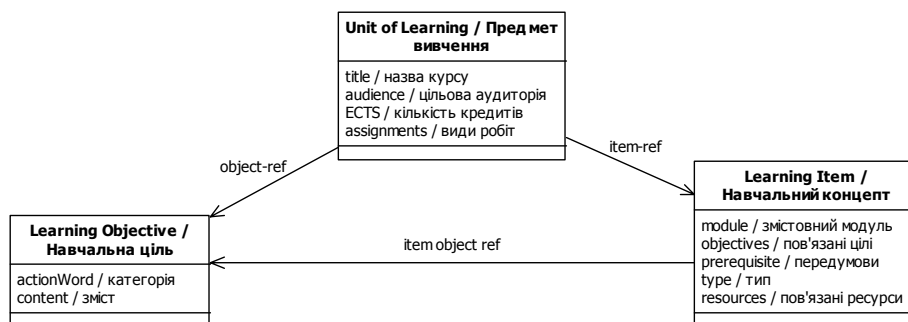


Рис. 1. Діаграма класів понять інформаційної моделі предметної області

Формальні аксіоми дозволяють визначити семантичні обмеження для всіх класів онтології. Для введеної онтології важливими є дві формальні аксіоми:

- інформаційний процес навчання вважається завершеним, коли досягнуті всі поставлені навчальні цілі:

$$\forall u, g \mid u \in \text{Unit of Learning} \wedge g \in \text{Learning Objective} \wedge \wedge \text{object-ref}(u, g) \wedge \text{isCompleted}(g) \rightarrow \text{isCompleted}(u), \quad (1)$$

де  $u$  – предмет вивчення,  $g$  – навчальна ціль;

- інформаційний процес досягнення навчальної цілі вважається завершеним, коли вивчені всі навчальні концепти пов'язані з нею:

$$\forall g, c \mid g \in \text{Learning Objective} \wedge c \in \text{Learning Item} \wedge \wedge \text{item-object-ref}(c, g) \wedge \text{isCompleted}(c) \rightarrow \text{isCompleted}(g), \quad (2)$$

де  $c$  – навчальний концепт.

Істотними поняттями моделі предметної області є навчальні концепти, які можуть бути згруповані до змістовних модулів. Аналіз залежностей між змістовними модулями і навчальними концептами дозволяє побудувати ієрархічну структуру основних понять – змістовну модель предметної області – гетероієрархією, вершини якої відповідають навчальним концептам і модулям, а ребра – відношенням «є частиною» між ними.

Можемо сформулювати *принцип достатності декомпозиції*: завжди існує достатній (не надлишковий) рівень деталізації моделі предметної області, який може бути заданий на підставі формалізованого аналізу навчальних цілей. На базі загального принципу достатності декомпозиції стає можливим сформулювати три основних умови – умову недостатньої деталізації моделі, умову надлишкової деталізації моделі та умова конструктивної деталізації, які є формалізованими критеріями цілеспрямованого формування моделі предметної області.

Крім цього, на основі використання числа Міллера можна сформулювати правило: якщо при виконанні ітеративної декомпозиції для формування моделі предметної області відомі основні концепти, то зупинити процедуру слід не пізніше заглиблення на два рівні деталізації. Це правило забезпечує простоту визначення моменту припинення виконання декомпозиції моделі предметної області при її будованні.

Таким чином, використання абстрагування дозволяє побудувати інформаційну модель предметної області та дає можливість ввести принцип достатності декомпозиції, який дозволяє формалізувати критерії цілеспрямованого формування моделі предметної області.

## 2. Асоціація – $A_2$

Аналіз моделі предметної області має оцінити силу інформаційного зв'язку між концептами і забезпечити виконання декомпозиції моделі предметної області на навчальні модулі. Фактично, в ході аналізу оцінюється якість структурованості і логічної зв'язності моделі предметної області, які є головними факторами підвищення якості її подальшого вивчення. Рішення задачі аналізу структури моделі предметної області забезпечує формалізація поняття *асоціативних зв'язків*.

Як видно, змістовна модель предметної області не використовує такі важливі характеристики концептів з інформаційної моделі, як множину пов'язаних з ним навчальних цілей –  $G_i$ , множину концептів-передумов –  $In_i$  та множину концептів-постумов –  $Out_i$ . Їх врахування дає можливість визначити на заданій множині концептів два базових відношення асоціації.

Між двома концептами існує асоціація за метою, якщо контексти цих концептів мають спільні елементи в множинах навчальних цілей.

Між двома концептами існує асоціація за логікою, якщо постумова першого концепту входить до передумови другого.

Концепцію асоціації є сенс формалізувати за допомогою міри асоціативного зв'язку – дійсної функції  $ass : F^2 \rightarrow [0,1]$ . Введемо два типи мір асоціативного зв'язку:

–  $ass_G : F^2 \rightarrow [0,1]$  – міра асоціативного зв'язку за метою, яку слід визначати як значення відношення

$$ass_G(c_i, c_j) = \frac{|G_i \cap G_j|}{\min(|G_i|, |G_j|)}, \quad (3)$$

де  $c_i, c_j \in C$  – концепти,  $G_i, G_j \in G$  – множини навчальних цілей для цих концептів;

–  $ass_L : F^2 \rightarrow [0,1]$  – міра асоціативного зв'язку за логікою, яку слід визначати як значення відношення

$$ass_L(c_i, c_j) = \frac{|Out_i \cap In_j|}{|In_j|}, \quad (4)$$

де  $c_i, c_j \in C$  – концепти,  $Out_i \in Out$  – постумова концепту  $c_i$ ,  $In_j \in In$  – передумова концепту  $c_j$ .

Тоді міра загального асоціативного зв'язку визначається як сума

$$ass(c_i, c_j) = ass_G(c_i, c_j) + ass_L(c_i, c_j). \quad (5)$$

На основі ідентифікованих парних асоціацій між двома концептами введено в розгляд поняття асоціативної карти предметної області – набору навчальних концептів з визначеними на них асоціативними зв'язками, математичною моделлю якої є змішаний зважений граф. Вершинам асоціативної карти відповідають навчальні концепти, ребрам і дугам карти – асоціативні зв'язки за метою та логікою, ваговим коефіцієнтам дуг та ребер – відповідні міри асоціативного зв'язку. Асоціативна карта є основою для оцінювання якості грануляції і обґрунтованості декомпозиції моделі предметної області.

Грануляція моделі предметної області – це визначення підмножин елементів предметної області, на яких визначено відношення нерозрізнимості для суб'єкту навчання, тобто єдиних конструкцій – навчальних концептів.

На основі асоціативної карти сформульовані три умови конструктивного визначення концептів – умова якісної грануляції, умова надмірної відособленості концепту та умова надмірної докладності концептів. Аналіз кількісних показників структури дозволяє робити висновки про якість структури отриманої моделі предметної області.

При аналізі обґрунтованості декомпозиції моделі предметної області слід враховувати те, що ключовою вимогою є забезпечення модульної структури, для чого слід дотримуватися принципів зв'язності і зчеплення. Введемо до розгляду дві метрики.

Зв'язність навчального модуля – це сила взаємозв'язків між концептами цього модуля, яку можна розрахувати як середнє значення вагових коефіцієнтів дуг між вершинами асоціативної карти, що відповідають цим концептам:

$$WCh(k) = \frac{\sum_{c_i \in V_k} \sum_{c_j \in V_k} (ass(c_i, c_j) + ass(c_j, c_i))}{|V_k|}, \quad (6)$$

де  $ass(c_i, c_j)$  – міра асоціативного зв'язку, що розрахована за формулою (5),  $V_k$  – множина концептів, які належать модулю  $k$ ,  $|V_k|$  – потужність множини  $V_k$ .

Зчеплення навчального модуля – це сила взаємозв'язків цього модуля з іншими навчальними модулями, яку можна розрахувати як середнє значення вагових коефіцієнтів дуг, що поєднують підграф цього навчального модуля з рештою вершин асоціативної карти:

$$WCP(k) = \frac{\sum_{c_i \in V_k} \sum_{c_j \notin V_k} (ass(c_i, c_j) + ass(c_j, c_i))}{|V_k|}. \quad (7)$$

Ефективна розбивка на модулі досягається максимізацією зв'язності і мінімізацією зчеплення. Якщо для всіх навчальних модулів значення показника зв'язності більше значення показника зчеплення, то можна стверджувати, що декомпозиція моделі предметної області виконана обґрунтовано.

В процесі навчання поступово досягаються навчальні цілі. Взаємозв'язок між навчальними цілями та концептами, який моделюють змістовна модель та асоціативна карта предметної області, дає можливість визначити траєкторію навчання. *Траєкторія навчання* – це логічна послідовність вивчення концептів моделі предметної області, яка дозволяє досягти всі навчальні цілі. Її забезпечують асоціативні відношення.

Очевидно, що траєкторію навчання можна трактувати як логічну послідовність обходу всіх вершин асоціативної карти, для будувannya якої природно використати алгоритм топологічного сортування [3]. Але застосування топологічного сортування з метою будувannya траєкторії навчання потребує внесення ряду змін до традиційного алгоритму.

Перша зміна стосується виявлення контурів в асоціативній карті, які свідчать про неякісне виконання проектування моделі предметної області. Якісна модель предметної області повинна підтримувати процес поетапного просування до бажаного кінцевого результату її вивчення. Якщо існує циклічна залежність між навчальними концептами, то не виключена ситуація, коли об'єкт навчання ніколи не досягне бажаного результату. Таким чином, наявність контуру в асоціативній карті є критерієм, який визначає потребу в перепроєктуванні моделі предметної області, під час якого може змінюватися як множина концептів, так і множина асоціативних зв'язків, визначених на цих концептах. Тому перед тим, як розпочати впорядкування вершин, слід перевірити наявність контурів, та за наявності визначити, які вершини утворюють контур.

Друга зміна стосується вхідних концептів, тобто навчальних концептів моделі предметної області, з яких може розпочинатися її вивчення. Траєкторія навчання повинна мати один вхідний концепт, тому за умови знаходження кількох початкових вершин в асоціативній карті потрібно визначити додаткове відношення порядку на цих вершинах.

Після того, як перевірена наявність контурів та визначено вхідний концепт, на основі алгоритму топологічного сортування визначається порядок обходу навчальних концептів.

Отже застосування асоціативних зв'язків суттєво розширює можливості аналізу структури моделі предметної області, які забезпечує абстрагування на рівні змістовної моделі предметної області.

### 3. Адаптація – А<sub>3</sub>

Очевидною проблемою інформаційного процесу навчання є те, що під час навчання відбуваються зміни двох типів. По-перше, відбуваються зміни в предметній області. По-друге, об'єкт навчання набуває нових знань та вмінь, що змінює його властивості і характеристики. Отже процес навчання доцільно зробити адаптивним, тобто таким, що пристосовується до зовнішніх факторів адаптації та індивідуальних особливостей об'єкту навчання, які, в загальному випадку, можуть змінюватися в процесі навчання. *Адаптивність процесу навчання* – це його здатність пристосовуватися до умов і навколишнього середовища, які змінюються, що приводить до підвищення його ефективності.

Адаптація визначає здатності моделі предметної області бути зміненою відповідно до нових зовнішніх умов та характеристик об'єкту навчання. Під *задачею адаптації* будемо розуміти процес зміни моделі предметної області з поточного стану в новий стан, який забезпечує задоволення нових умов. В роботі показано, що для забезпечення адаптивності процесу навчання слід звернути увагу на два типи адаптивності:

- структурна адаптивність стосується розробки моделі предметної області таким чином, щоб забезпечити здатність до визначеного набору типів адаптації;

- адаптивність траєкторії стосується методів проектування реалізації процесу навчання відповідно до певного набору адаптаційних методик, наприклад, адаптація навігації електронного курсу до цілей об'єкту навчання.

В основі проектування адаптивних систем завжди лежить структурована модель предметної області, яку побудовано з визначеним рівнем абстрагування. Як зазначалося раніше, асоціативні відношення моделюють навчальні цілі та логічні обмеження на вивчення, які визначаються сучасним станом знань про предметну область, а також знань та преференцій об'єкту навчання. Таким чином, визначення асоціативних зв'язків є інструментом реалізації структурної адаптивності. А використання асоціативної карти для будувannya траєкторії навчання дозволяє забезпечити її адаптацію до індивідуальних потреб об'єктів навчання.

Отже для адаптації моделі предметної області краще використовувати не інформаційну модель предметної області на основі онтології, а дві її похідні форми: змістовну модель та асоціативну карту. Таке розділення забезпечує достатню гнучкість для реалізації механізмів адаптації.

Для визначення того, наскільки легко може бути виконана задача адаптації для моделі предметної області, потрібна кількісна міра адаптивності, що залежить від цієї моделі і типу задачі адаптації. Для її визначення введемо поняття *ядра адаптації моделі предметної області* – множини понять змістовної моделі, зміна кожного з яких призводить до таких змін в моделі предметної області, через які вона стає основою для нового предмету вивчення. Відповідно решта концептів утворюють *адаптивне середовище* моделі предметної області, яке і забезпечує можливість виконання її структурної адаптації.

Тоді кількісний показник адаптивності моделі предметної області можна визначити як

$$K_{ad} = N_{ad} / N_c, \quad (8)$$

де  $N_{ad}$  – кількість концептів в множині адаптивного середовища,  $N_c$  – загальна кількість концептів моделі предметної області.

Очевидно, що *необхідною умовою існування рішення задачі адаптації* моделі предметної області є виконання нерівності  $K_{ad} \neq 0$ , тобто існування непустиого адаптивного середовища моделі. В іншому випадку будь-яка зміна моделі призведе до зміни предмету вивчення.

Таким чином, адаптація, на відміну від асоціації, не є засобом збагачення можливостей аналізу якості моделі предметної області, а є засобом «налаштування» інформаційного процесу навчання до потреб об'єкту навчання та змін, що відбуваються в предметній області під час її вивчення.

#### 4. Інформаційна технологія $A^3$

Інформаційна технологія  $A^3$  розробки моделі предметної області поєднує абстракцію, асоціацію та адаптацію в єдине ціле з метою аналізу моделей предметних областей для підвищення якості їх подальшого вивчення. Її вхідними даними є результати аналізу предметної області, що вивчається, а саме навчальні цілі та навчальні концепти. А далі для результатів аналізу предметної області послідовно будуються три проєкції:

- в простір контенту – виконується формалізація змісту предметної області, як результат формуються інформаційна модель на основі онтології та змістовна модель предметної області;
- в простір структури – виконується збагачення змістовної моделі предметної області на основі введення асоціативних зв'язків та розраховуються кількісні характеристики якості структури моделі предметної області, як результат будуються асоціативна карта предметної області та декомпозиції моделі предметної області на навчальні модулі;
- в простір часу – виконується розгортання навчальних модулів і концептів в часі, як результат будується траєкторія навчання.

Таким чином, інформаційна технологія  $A^3$  має три етапи.

Перший етап стосується аналізу контенту предметної області. На основі сформульованих суб'єктом навчання навчальних цілей та навчальних концептів розробляється інформаційна модель предметної області, та на її основі будується змістовна модель предметної області. Остання модель використовується для перевірки достатності деталізації моделі предметної області за допомогою отриманих в результаті експертного оцінювання граничних значень показника достатності деталізації.

Другий етап стосується аналізу структури моделі предметної області. На цьому етапі будується асоціативна карта предметної області, на основі якої оцінюється якість грануляції та обґрунтованість декомпозиції моделі предметної області.

Третій етап стосується будівництва траєкторії навчання на основі розробленої моделі предметної області.

До результатів інформаційної технології  $A^3$ , які використовуються далі в процесі навчання, перш за все належать декомпозиції на навчальні модулі та траєкторія навчання. Решта результатів – інформаційна модель, змістовна модель та асоціативна карта предметної області є інформацією, яка може бути застосована повторно за необхідності адаптації моделі або утворення нового предмету вивчення.

На рис. 2 показані основні етапи інформаційної технології  $A^3$  та їх стислий зміст.

Істотною відмінністю інформаційної технології  $A^3$  від існуючих технологій підготовки інформаційного забезпечення процесу навчання є те, що всі оцінки і результати, які можна отримати з її допомогою, стосуються рівня структури моделі інформаційної взаємодії об'єкту та суб'єкту навчання [4]. А отже ці результати є універсальними щодо форми навчання.

Якою б не була мета вивчення предметної області, суб'єкт навчання під час своєї роботи потребує засоби комплексного забезпечення якості контенту, які забезпечують рішення всього різноманіття задач: будівництва моделі предметної області, перевірки якості грануляції і обґрунтованості декомпозицій моделі предметної області, будівництва траєкторії навчання, забезпечення можливостей адаптації навчального процесу, тощо.

Таким чином, незважаючи на існуючі відмінності в способах формування контенту і методології організації процесу навчання, існує об'єктивна потреба спільної реалізації різних методів аналізу інформації про предметну область в рамках єдиної інформаційної системи. З іншого боку, тверда фіксація складу інструментів аналізу якості веде до істотної втрати гнучкості при настроюванні системи на потреби конкретних суб'єктів навчання і умови процесу навчання.

Отже інформаційну систему слід розглядати як програмну мета-систему, яка містить ряд підсистем. Кожна з них реалізує визначений метод аналізу інформації і дозволяє вирішувати визначену підмножину задач аналізу якості моделі предметної області. Але на рівні окремих задач чіткої границі між підсистемами не існує.

Інформаційна технологія  $A^3$  реалізована інформаційною системою *Acube*. Для рішення конкретної задачі в *Acube* необхідно виконати такі дії:

- підготувати опис інформаційної моделі предметної області на основі онтології та зберегти його в сховищі даних;
- визначити набір оцінок та інших результатів, які потрібно отримати;
- отримати необхідні результати, скориставшись з функціоналу, що його забезпечує інформаційна система *Acube*;
- проаналізувати отримані оцінки, за потреби зберегти результати обчислень.

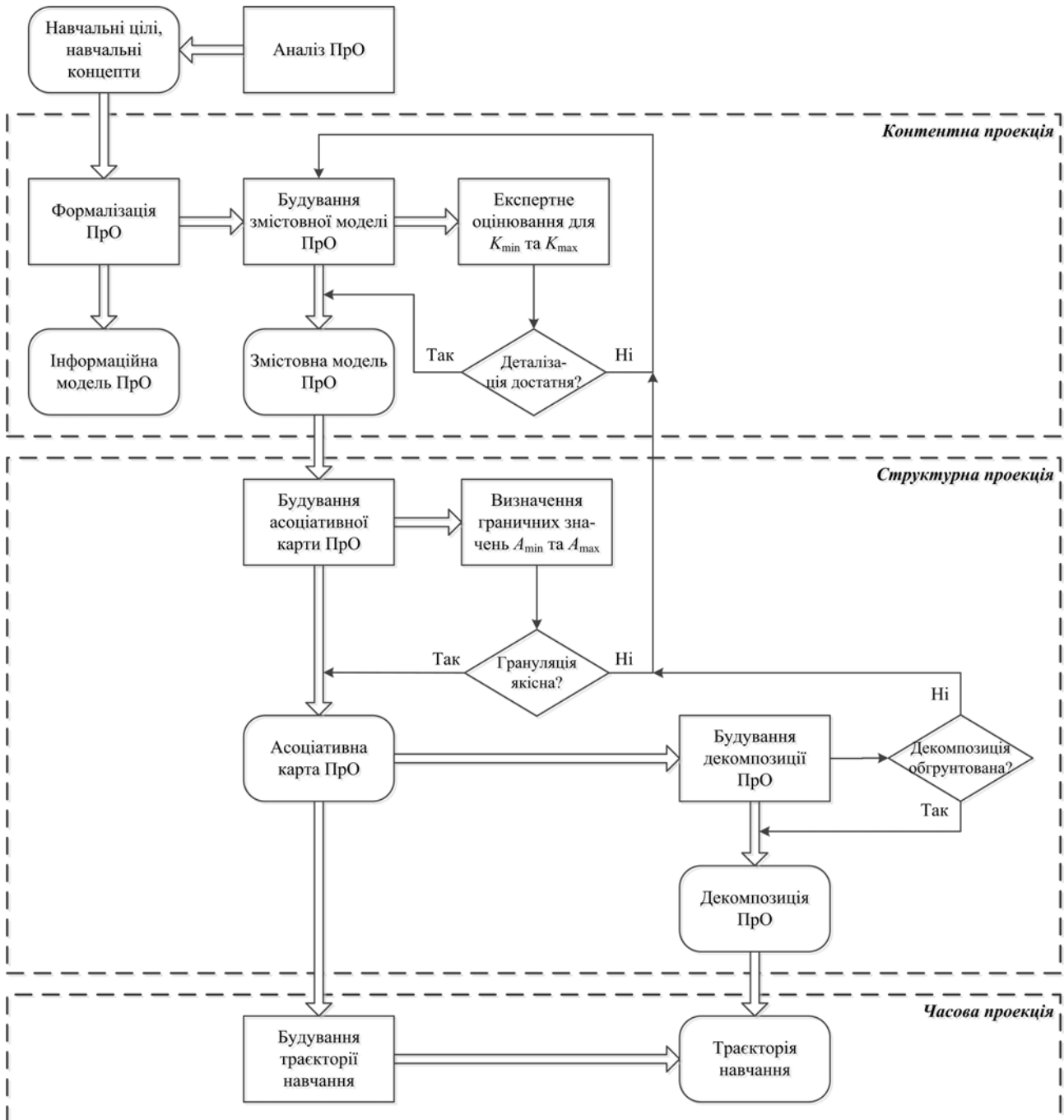


Рис. 2. Схема інформаційної технології  $A^3$

Користувачем інформаційної системи *Acube* є суб'єкт навчання, тому основна мета цієї системи – надання засобів розробки та аналізу моделей предметної області, які забезпечують якість їх подальшого вивчення (рис. 3).

Інформаційна система *Acube* підтримує створення моделі (аналіз і формалізацію) предметної області, її оцінювання та генерацію на її основі похідних результатів. Її основні функціональні можливості:

- аналіз предметної області – на цьому етапі визначаються основні поняття предметної області;
- формалізація предметної області – визначення атрибутів класів та створення таксономії класів онтології, визначення формальних аксіом;
- оцінювання моделі – виконання перевірок якості грануляції та обґрунтованості декомпозиції для створених моделей предметної області;
- генерація похідних результатів – будівлення траєкторій навчання, розробка стратегій адаптації тощо.

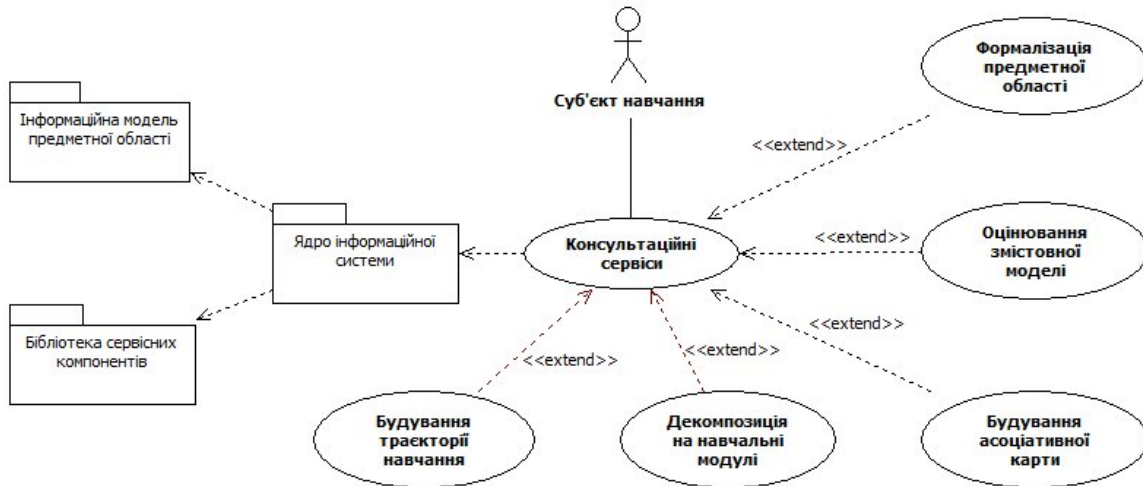


Рис. 3. Діаграма варіантів використання інформаційної системи *Acube*

## Висновки

У роботі описана інформаційна технологія розробки та аналізу якості моделей предметної області, яка відрізняється від відомих підходів тим, що формалізовані роботи, які виконуються на етапі опису предметної області, і введено кількісні міри оцінки якості структури моделі предметної області. Використання розробленої інформаційної технології для аналізу моделей предметної області навчальних курсів вищих навчальних закладів дозволило підняти рівень засвоєння матеріалу та успішності навчання студентів.

На основі інформаційної технології  $A^3$  розроблена інформаційна програмна система *Acube*, яка призначена для підтримки процесів розробки та аналізу якості моделей предметної області.

Розроблені інформаційна технологія та інформаційна система є засобами вирішення важливої проблеми розробки методологічних основ, математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення моделювання предметних областей з метою їх подальшого вивчення.

1. Любченко В.В. Технологія  $A^3$  для розробки дистанційних курсів // Труды Одесского политехнического университета. – 2007. – Вып.2 (28). – С. 145 – 149.
2. Любченко В.В. Модели знаний для предметных областей учебных курсов // Искусственный интеллект. – 2008. – № 4. – С. 458 – 462.
3. Sedgewick R. Algorithms in Java. – Addison Wesley, 2002. – 768 p.
4. Любченко В.В. Уровневая модель взаимодействий в электронном обучении // Компьютерные науки и технологии. Технический университет Варна. – 2009. – 2. – С. 59 – 63.