

УДК 004.434

В.І.Межуєв  
Бердянський державний педагогічний університет  
mejuev@ukr.net

## Лінгвістичний підхід до розгляду архітектури інструментів предметно-орієнтованого математичного моделювання

*У статті розглядаються принципи нової інформаційної технології предметно-орієнтованого математичного моделювання (DSMM) і архітектура відповідних інструментальних засобів. Ідея DSMM полягає в інтеграції лінгвістичного підходу до розробки метамоделей (мов моделювання) і математичних методів моделювання предметних областей.*

**Предметно-орієнтоване моделювання, метамоделі, мови моделювання.**

### Вступ

Сутність інформаційної технології (ІТ) предметно-орієнтованого моделювання (англ. Domain-Specific Modelling, DSM) [1] полягає у побудові моделей предметних областей (ПрО) шляхом розробки та застосування специфічних для ПрО мов моделювання (англ. Domain-Specific Language, DSL).

Незважаючи на те, що у розробці ІТ DSM приймають участь великі компанії (такі як Microsoft [2]) та консорціуми (як то Eclipse [3]), її теоретичні засади та практична реалізація страждають від багатьох недоліків. Зокрема, є вузькою областю застосування інструментів DSM, що призначені в основному для генерації програмного коду.

Подолати недоліки DSM ми пропонуємо за допомогою інформаційної технології предметно-орієнтованого математичного моделювання (DSMM, Domain-Specific Mathematical Modelling). У рамках ІТ DSMM результат процесу моделювання ПрО розглядається як математична модель, до якої може бути застосований довільний метод (окремим випадком якого є генерація структур даних чи алгоритмів).

У наших попередніх дослідженнях (див. зокрема [1; 4; 5]) була розглянута архітектура інформаційної технології та інструментальних засобів предметно-орієнтованого математичного моделювання у контексті системного підходу. Кожний рівень ІТ DSMM та відповідно кожний рівень архітектури інструментів DSMM був пов'язаний зі структурними властивостями ПрО. Перехід між рівнями архітектури ІТ DSMM спрямований на підвищення системності у розгляді ПрО. У той же час найважливішою особливістю ІТ DSMM є визначення на кожному рівні архітектури специфічної мови моделювання.

Питанню побудови мов моделювання присвячена значна кількість наукових та технічних

технічних публікацій (див., зокрема, монографію [6]). Зазначимо, що в ІТ DSM поняття мови моделювання та метамоделі розглядаються як синонімічні. Ключова ідея ІТ DSMM полягає у поєднанні лінгвістичного (мовного) підходу до побудови метамоделей ПрО та математичних методів моделювання ПрО. У цьому випадку структура метамоделі (мови моделювання ПрО) зазнає суттєвих змін. Разом із алфавітом і граматику, метамодель кожного рівня архітектури ІТ DSMM включає сукупність математичних методів, реалізованих у вигляді програмних функцій. Такі функції формують API (Application Programming Interface) інструментів DSMM та дозволяють користувачам власноруч визначити як алфавіт та граматику мов моделювання так і будувати алгоритми розв'язання специфічних для ПрО задач.

Зазначимо, що відповідні тематичні статті дослідження зараз активно здійснюються у галузі створення інтелектуальних систем автоматизації проектування (див., зокрема [7; 8]). У той же час пропонується технологія DSMM виходить за рамки задач проектування, бо дозволяє створювати моделі не лише майбутніх систем, але і здійснювати математичне моделювання існуючих ПрО.

Для розкриття принципів пропонованої інформаційної технології DSMM перш за все визначимо базові поняття.

### **Метамови, мови, метамоделі та моделі**

У математичній логіці поняття «метамова» було введено польським математиком Альфредом Тарським [9]. Він запропонував певну ієрархію («сходи») мов. Першим рівнем мови (звичайною мовою) є твердження про об'єкти ПрО, наприклад «земля має місяць». Відповідно до концепції Тарського, метамова використовується для оцінки істинності тверджень про об'єкти ПрО. Про істинність тверджень, зробле-

істинність тверджень, зроблених на метамові, можна говорити на наступній сходинці мов, тобто мета-метамові. Зазначимо, що зі «сходами» мов Тарського тісно пов'язана теорія типів Бертрана Рассела [10], про яку піде мова далі.

У контексті ІТ DSMM тлумачення метамови (метамоделі) є близьким до такого, що дається у лінгвістиці: як мови, що призначена для опису мови. Зокрема, природна мова може бути власною ж метомовою (наприклад, для опису української мови може бути використана українська мова).

Мова моделювання - це формальна знакова система, призначена для побудови моделей Про [6]. Відмінність мови моделювання від мови програмування полягає у тому, що остання призначена для визначення послідовності команд комп'ютеру. Мова моделювання визначає набір синтаксичних та семантичних правил, що задають відповідно можливі структури моделей Про та способи їх використання.

Синтаксис мов моделювання кожного рівня архітектури ІТ DSMM задається правилами граматики, визначеними на попередньому рівні. Семантика мови визначається в ІТ DSMM шляхом специфікації дій (функцій API), що виконуються у випадку зустрічі синтаксичним аналізатором відповідної мовної конструкції.

Взагалі кажучи, формальна мова моделювання є об'єднанням кількох множин:

- множини вихідних символів (алфавіт);
- множини правил, які дозволяють будувати з символів алфавіту слова мови;
- множини задалегідь визначених ідентифікаторів (ключових слів мови моделювання);
- множини правил, які дозволяють створювати з ідентифікаторів речення мови.

Множину правил породження слів і речень називають формальною граматиною  $G$  (від. англ. *Grammar*) мови моделювання. Множина всіх валідних речень граматики називається формальною мовою, яка породжена граматиною  $G$  та позначається  $L(G)$  (від. англ. *Language*).

### Формальні граматики мов моделювання

Формальна граMATика  $G$  визначає спосіб опису мови та дозволяє виділити певну підмножину із множини всіх слів деякого кінцевого алфавіту. У теорії формальних мов [11; 12] граматики поділяють та такі, що *породжують* і такі, що *розпізнають* (або *аналітичні*) граматики. У першому випадку задаються правила, за допомогою яких можна побудувати будь-яке слово мови, а у другому правила дозволяють визначити, чи входить дане слово у мову.

У контексті ІТ DSMM робиться акцент на аналітичних (або таких, що розпізнають) граматики, що дозволяють визначити, чи належить

дане слово мові. Алгоритм інструментів DSMM оснований на перевірці умови, чи відповідає мовна конструкція даного рівня архітектури правилу граматики, визначеному на попередньому рівні архітектури, та виконанні відповідної дії у випадку істинності чи хибності умови. Зазвичай, істинність умови встановлює дозволи на дії користувача і, таким чином, дозволяє керувати процесом моделювання Про.

Програмні функції для формулювання правил граматики мов та дозволів на дії користувачів є невід'ємною складовою API засобів DSMM. Синтаксис та семантика цих функцій суттєво залежить від математичного апарату, покладеного в основу розробки мета-метамоделі. Наприклад, для мов, побудованих на основі теорії графів, ці функції визначають правила з'єднання ребер графу; для мов фізичного моделювання – це правила задання фізичних розподілів на геометричних об'єктах та ін.

Традиційним способом задання формальної граматики є визначення алфавітів термінальних і нетермінальних символів, набору правил виведення, а також виділення у множині нетермінальних символів початкового (стартового). Виведенням називається послідовність рядків, що складаються з терміналів і нетерміналів, де першим йде рядок, що включає стартовий нетермінал, а кожен наступний рядок отримується з попереднього шляхом заміни деякого підрядку відповідно одному з правил. Кінцевим є рядок, що повністю складається з терміналів, тобто є словом мови [11].

Зазначимо, що окреслений підхід є застосовним для лінійних мовних структур. У випадку ІТ DSMM мовні конструкції зазвичай мають більшу ніж один, кількість вимірів (прикладом є мови моделювання, побудовані на основі графів). Саме тому формальні граматики мов ІТ DSMM включають методи, що дозволяють згенерувати мовні конструкції більшої, ніж один, кількості вимірів. Розглянемо цей підхід більш детально.

### Використання методів у граматиках, які породжують

Розглянемо так звані L-граматики, що можуть бути використані для породження багатовимірних геометричних структур. Своєю назвою L-граматики завдячують їх винахіднику, угорському вченому Аристиду Ліденмаєру (Aristid Lindenmayer) [13]. L-системи найчастіше використовуються для моделювання процесу росту рослин та морфології інших організмів.

Зазначимо, що L-системи не є дійсно багатовимірними граматиками (тобто вони не генерують безпосередньо структур дво- або більшої кількості вимірів), але кожен рядок L-граматики за допомогою правил геометричної інтерпретації можна перетворити у багатовимірні структури.

Це здійснюється шляхом додання до складу граматики певних методів (що здійснюють інтерпретацію кожного символу мовної конструкції).

Як приклад, наведемо криву Коха, що визначається наступною грамакою:

**Алфавіт:**

Змінні: F

Константи:  $\uparrow$ ,  $\downarrow$

Стартовий символ: F

**Правила:**

$F \rightarrow F\uparrow F\downarrow F\uparrow F$ , де


F означає йти вперед (від англ. *Forward*),

$\uparrow$  означає "повернути ліворуч на  $90^\circ$ ",

$\downarrow$  означає "повернути праворуч на  $90^\circ$ ".

Зазначимо, що такі правила відповідні «черепашовій» графіці.

Таким чином, при кількості кроків  $n$ :

$n = 0$ : F 

$n = 1$ : F $\uparrow$ F $\downarrow$ F $\uparrow$ F 

$n = 2$ : 

Ми використовуємо означений підхід для визначення мов предметно-орієнтованого моделювання. Як ми зазначали раніш, їх найважливішою особливістю є включення у структуру мов множини методів. Ці методи можуть бути пов'язані як із термінальними так і нетермінальними символами алфавіту мови, визначаючи тим самим семантику мов моделювання DSMM.

### Алфавіт, як множина типів

Іншою важливою особливістю мов DSMM є розгляд їх алфавітів як множин типів, що підлягають інстанціації при побудові конкретних мовних конструкцій (власне, моделі ПрО). Таким чином, у DSMM алфавіт мови визначається як система типів, що будується відповідно до теорії типів.

Зазначимо, що сучасна теорія типів бере початок з роботи Бертрана Рассела й Альфреда Уайтхеда «Principia Mathematica» [14]. Згідно Б.Расселу всякий тип розглядається як діапазон значимості пропозиціональної функції. Помітимо, що з моменту виходу роботи [14] в 1910 р. і до 1970-х рр. теорія типів використовувалася лише фахівцями у галузі математики. В основному, теорія типів застосовувалася з метою розв'язання парадоксів, які порушували побудову основ математики (найбільш відомим з яких є парадокс Б. Рассела).

Однак у 70-х роках минулого століття виникла потреба у мовах програмування з більшими виразними можливостями, і теорія типів стала привертати увагу фахівців в області комп'ютерних наук. У наступне десятиліття було розроблено кілька формальних мов, основаних на теорії типів. Зазначимо мову ML, що була

розроблена в Единбургському університеті групою дослідників під керівництвом Робіна Мілнера [15]. Крім цього, з'явилися мови HOL (Кембриджський університет) [16], Miranda (Research Software Ltd.) [17], Nuprl (Корнельський університет) та ін.

Концепція типу даних з'явилася у мовах програмування високого рівня як природне відображення того факту, що дані можуть мати різні діапазони припустимих значень, зберігатися в пам'яті комп'ютера різним чином, займати різні об'єми пам'яті й оброблятися за допомогою різних команд процесору.

Розглянемо практичні шляхи застосування теорії типів для побудови мов моделювання в IT DSMM. Типізація припускає, що є дві множини об'єктів, причому елементам однієї з них (типи) ставляться у відповідність елементи іншої (екземпляри). Залежно від того, як це робиться, виникає той або інший підхід до типізації об'єктів.

Для визначення типізації введемо операцію приписування типу. Формалізація даної операції в IT DSMM здійснюється в поняттях теорії множин, як операція відображення елементів двох множин.

**Визначення.** Операція приписування типу є відображення  $f$ , тобто правилом, відповідно до якого кожному елементу  $d$  із множини  $D$  (від англ. *Domain*) ставиться у відповідність елемент  $T$  із множини типів  $\{T\}$ .

Приписування типів у DSMM є *поліморфним*, тобто у довільно взятому елементу ПрО може бути більше одного типу, по суті, нескінченна множина типів. Тип елемента моделі ПрО визначає *множину припустимих значень і набір операцій*, що можна застосовувати до такого елемента, а також *спосіб виконання операцій*.

В IT DSMM застосовуються два способи визначення типу:

1. За допомогою явного перерахування множини всіх елементів  $D$ , що належать даному типу  $T$ .

2. Предикатною функцією, що визначає належність елемента до даного типу.

Наведемо визначення предикатної функції  $\Psi$ , значення якої істинно, якщо елемент  $d$  належить типу  $T$ , і хибне в іншому випадку:

$$\Psi(d) = \begin{cases} true, d \in T \\ false, d \notin T \end{cases} \quad (1).$$

Таким чином, предметна область  $D$  обмежується множиною типів  $T$ , що є одним із правил структурування ПрО:

$$\forall d, d \in T \rightarrow d \in D \quad (2).$$

IT DSMM дозволяє визначати складні типи, що формують так звані структури даних. Множина структурних типів даних утворюються як декартовий добуток базових типів (а також раніше визначених складових типів). Зазначимо,

що базові типи даних (лінійні послідовності, матриці, дерева та ін.) визначаються в IT DSMM як складова частина API.

Формалізація структурних типів також здійснюється у рамках теорії множин. Нехай дані дві множини типів  $T_1$  і  $T_2$ . Структурним типом буде декартовий добуток множин  $T_1$  і  $T_2$ :  $T_1 \times T_2$ , елементами якого є впорядковані пари елементів  $(t_1, t_2)$  для всіх можливих  $t_1 \in T_1, t_2 \in T_2$

### Реалізація рівнів архітектури DSMM

У DSMM розглядаються чотири рівні архітектури моделювання ПрО [1; 4; 5]:

- мета-мета-метамодель (скорочено,  $M4$ );

- мета-метамодель ( $M3$ );
- метамодель ( $M2$ ) ПрО;
- модель ( $M1$ ) ПрО.

Відповідно до цього виділяються три множини типів: мета-метатипи, метатипи, типи (див. рис. 1).

На рівні  $M4$  ПрО розглядається як неструктурована множина елементів, що можуть мати довільну сутність (тобто бути поняттями, об'єктами, функціями, властивостями та ін. предметної області  $D$ ). Тобто мета-метатипом на рівні  $M4$  є поняття елемента множини  $D$ .

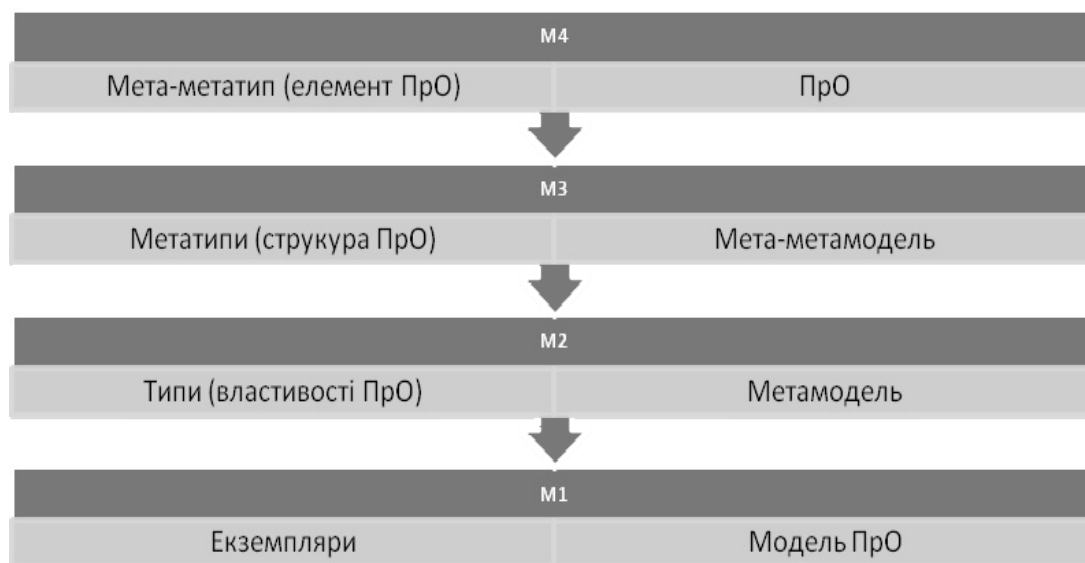


Рисунок 1 - Система типів та рівні архітектури DSMM

Зазначимо, що моделювання ПрО (у тому числі й предметно-орієнтоване) завжди має в основі загальнонаукові принципи, серед яких виділимо:

*абстрагування*, тобто виділення істотних властивостей ПрО (у відволіканні від несуттєвих);

*декомпозиція*, тобто поділ складних ПрО на окремі елементи, властивості яких можуть бути зрозумілі й змодельовані;

*структурування*, тобто зв'язування окремих частин, отриманих у результаті декомпозиції, у певні структури (зазначимо, що у загальнологічному контексті для позначення декомпозиції та структурування прийнято виділяти операції аналізу та синтезу);

*формалізація*, тобто математичне точне визначення властивостей і відношень об'єктів ПрО.

Розглянемо способи практичної реалізації визначених вище наукових принципів моделювання у рамках IT DSMM.

Абстрактні поняття рівня  $M3$  служать метатипами для породження типів  $M2$  (ця операція близька до *спадкування*, як воно розглядається в

об'єктно-орієнтованій методології). У той же самий час, поняття  $M2$  є типами для створення конкретних *екземплярів* об'єктів, що складають модель ПрО. Рівень  $M3$  інструменту *DSMM* надає можливість користувачу розробки множини метатипів, у поняттях якої буде здійснюватися *декомпозиція* ПрО (рівня  $M4$ ).

Таким чином, у контексті об'єктно-орієнтованого підходу та IT DSMM, *типізацію*, *спадкування* й *інстанціацію* можна визначити як методи реалізації загальнонаукових принципів абстрагування й декомпозиції. Помітимо, що традиційно *типізацію* розглядають як класифікацію об'єктів при переході від одиничного до загального (з наступною можливістю створювати копії цих типових об'єктів). В DSMM типи породжуються з ще більш абстрактних метатипів, таким чином, зберігається загальний напрямок моделювання від абстрактного до конкретного.

*Інстанціація* - механізм створення копій об'єкту того ж самого типу - є основним методом породження моделі з метамоделі. Після визначення метамоделі, ми розглядаємо її алфавіт як типи

для створення екземплярів, що мають конкретні значення атрибутів.

Типи метамоделі можна розглянути як екземпляри метатипів мета-метамоделі, до яких додаються специфічні для ПрО атрибути. Будемо називати цей метод *атрибутизацією* для розмежування з використанням в об'єктній методології терміном *спадкування*.

Таким чином, мають місце наступні відношення між рівнями архітектури моделювання IT DSMM:

- відношення між M4 (ПрО) і та M3 (мета-метамоделлю): структурування. Саме тому, метатипи визначені на рівні M3 ми будемо також називати структурними типами  $T_{struct}$ ;

- відношення між мета-метамоделлю (M3) й метамоделлю (M2) - атрибутизація (спадкування, у термінах об'єктного підходу). Сутність цієї операції полягає у доданні до структурних типів  $T_{struct}$  специфічних для ПрО атрибутів. Таким чином, типи, визначені на рівні M3, ми будемо називати атрибутованими типами  $T_{attr}$ ;

- відношення між метамоделлю (M2) й моделями (M1) – створення екземплярів (інстанціація, у термінах об'єктного підходу).

### Різниця між мовами моделювання різних рівнів архітектури

Розглянемо мову рівня M3, тобто мета-метамодель, що призначена для розробки метамоделі експертом ПрО.

Мова M3 DSMM включає:

1. Алфавіт M3 (мета-типи, що використовуються для створення типів метамоделі M2 та визначають структуру M1).

2. Атрибути символів алфавіту M3 (необхідні для задання структур M1).

3. Правила граматики (визначають, як можна поєднати символи M3 на рівні M2).

Розглянемо властивості мови рівня M2, тобто метамоделі, призначеної для розробки моделі ПрО фахівцем ПрО. Мова M2 DSMM включає:

1. Алфавіт (типи, що використовуються для створення екземплярів на рівні моделі ПрО).

2. Атрибути символів алфавіту (що відбивають специфіку ПрО).

3. Правила граматики (визначають, як поєднати екземпляри типів M2 на рівні моделі).

### Визначення мета-метамоделі, метамоделі й моделі в IT DSMM

Особливістю мов моделювання IT DSMM є їх визначення на основі математичних абстракцій. В основу метамоделі можуть бути покладені різні математичні теорії: алгебра, геометрія, теорія множин, теорія графів й ін. При цьому дані формалізми визначають не лише систему типів, але і

математичні методи моделювання ПрО, які включаються у структуру метамоделі як API.

Побудова метамоделей на підставі математичних абстракцій дозволяє відтворювати не лише структуру ПрО, але будувати методи для розв'язання виникаючих у ПрО задач. При цьому породжена з математичної теорії метамодель дозволяє оперувати методами цієї теорії, у той же самий час залишаючись в рамках змістовних понять ПрО.

У загальнонауковому сенсі метамодель визначає поняття та правила їх використання, застосовні для створення цілого класу моделей предметної області. Як модель є абстракцією ПрО, так і метамодель є абстракцією, що відбиває властивості моделей ПрО. У лінгвістичному ж аспекті, модель відповідає метамоделі у тому же відношенні, як комп'ютерна програма граматиці мови програмування, на якій вона написана.

Мета-метамодель M3 містить метатипи, що відповідають модельним об'єктам певної математичної теорії, відповідні методи, а також правила побудови метамоделей, тобто визначається нами як множина:

$$M3 \sqcap \{ \{MT\}, \{C\}, \{R\} \} \quad (3).$$

$MT$  (або  $T_{struct}$ ) - множина метатипів для породження типів метамоделі.

$C$  - множина математичних методів, застосовних до метатипів  $\{MT\}$ .

$R$  - сукупність правил побудови метамоделей (граматика), власне, обмежень на структуру метамоделі.

Наприклад, у теорії графів елементами  $\{MT\}$  є вершини й ребра, методами  $\{C\}$  є правила обходу графу, знаходження мінімального шляху й т.ін.

Мета-метамодель M3 використовується для породження метамоделей предметних областей шляхом застосування множини правил граматики  $\{R\}$  (власне, наявність  $\{R\}$  відрізняє мета-метамодель M3 від математичної теорії).

Метамодель включає множину атрибутованих властивостями ПрО типів, що породжені з метатипів  $\{MT\}$ , а також граматику для побудови моделей ПрО.

$$M2 \sqcap \{ \{T\}, \{L\}, \{R\} \} \quad (4).$$

$T$  (або  $T_{attr}$ ) - множина типів для створення екземплярів (об'єктів моделі ПрО).

$L$  - множина законів існування ПрО, способів використання ПрО, обчислювальних функцій та ін.

$R$  - граMATика для побудови моделей ПрО (власне, обмежень на структуру моделі ПрО).

Метамодель M2 використовується для породження моделей предметних областей шляхом застосування множини правил  $\{R\}$ .

Модель ПрО розглядається нами як множина екземплярів  $T$  ( $Inst(T)$ ), або, іншими словами, структурованих за допомогою метамоделі елементів моделі ПрО:

$$M \sqsubseteq \{Inst(T)\} \quad (5).$$

Зазначимо, що у деяких випадках доцільно розглянути множину  $Inst(T)$  як сукупність двох множин:

$$M \sqsubseteq \{\{Inst(T_{struct}), \{Inst(T_{attr})\}\} \quad (6),$$

де  $Inst(T_{struct})$  - множина об'єктів (екземплярів  $\{T_{struct}\}$ ), що задають структуру ПрО.

$Inst(T_{attr})$  - множина об'єктів (екземплярів  $\{T_{attr}\}$ ), що визначають властивості ПрО.

У випадку (6) модель ПрО є сукупністю двох множин: множини об'єктів, що задають властивості ПрО та множини об'єктів, що задають структуру даних властивостей. Такий підхід є зокрема доцільним, коли правила, що задають структуру ПрО, формулюються на окремих множинах.

У порівнянні ІТ DSMM з об'єктно-орієнтованою методологією, особливість пропонованої моделі ПрО полягає у зміні акценту з об'єкту на його властивість, а також явному виділенні множини об'єктів, що задає структуру елементів ПрО. Підкреслимо, що саме задання структури елементів ПрО дозволяє застосувати відповідні властивостям ПрО математичні методи.

Зазначимо, що саме з використанням об'єктно-орієнтованого підходу структура моделі ПрО (5) суттєво спрощується. У цьому випадку розглядається лише множина об'єктів моделі, що будується шляхом інстанціації від типів  $T$  ( $T_{attr}$ ), побудованих на основі метатипів  $MT$  ( $T_{struct}$ ).

У рамках об'єктного підходу типи  $\{T_{struct}\}$  метамоделі  $M3$  є множиною метакласів, що інкапсулюють (*encapsulation*) специфічні для них методи  $\{C\}$ . Метакласи  $\{T_{struct}\}$  є базовими для  $\{T_{attr}\}$ , тобто  $\{T_{attr}\}$  успадковують властивості й методи  $\{T_{struct}\}$  (відношення *inheritance*).

Клас  $\{T_{attr}\}$  розширює  $\{T_{struct}\}$  специфічними

для ПрО атрибутами, а також правилами й методами шляхом інкапсуляції множин  $\{R\}$  й  $\{L\}$  (у рамках структурного підходу дані множини є зовнішніми по відношенню до  $\{T_{attr}\}$ ). Функції обчислень, що входять до  $\{L\}$ , будуються на основі множини математичних методів  $\{C\}$  метамоделі та дозволяють визначити способи розв'язання специфічних для ПрО задач.

## Висновки

Ключова ідея ІТ DSMM полягає у поєднанні лінгвістичного підходу до побудови метамоделей ПрО та математичних методів моделювання ПрО. У цьому випадку структура метамоделі (мови моделювання ПрО) зазнає суттєвих змін. Разом із алфавітом і граматику, метамодель кожного рівня архітектури ІТ DSMM включає сукупність математичних методів, реалізованих у вигляді програмних функцій. Такі функції формують API інструментів DSMM та дозволяють користувачам власноруч визначити як алфавіт та граматику мов моделювання, так і побудувати алгоритми розв'язання специфічних для ПрО задач.

Синтаксис мови моделювання кожного рівня архітектури ІТ DSMM задається правилами граматики, визначеними на попередньому рівні. Семантика мов визначається шляхом специфікації дій, що виконується у випадку зустрічі синтаксичним аналізатором відповідної мовної конструкції.

Іншою важливою особливістю мов DSMM є розгляд їх алфавітів як систем типів, що підлягають інстанціації при побудові конкретних мовних конструкцій (відповідно, моделей ПрО). Розглянута семантика типів відповідно до рівнів архітектури DSMM. На рівні  $M3$  визначається типи, що задають структуру ПрО  $\{T_{struct}\}$ . На рівні  $M2$  визначаються типи, що визначають властивості ПрО  $\{T_{attr}\}$ . У контексті об'єктно-орієнтованої парадигми модель ПрО будується як множина екземплярів типів  $T$  ( $\{T_{attr}\}$ ), що побудовані на основі метатипів  $MT$  ( $\{T_{struct}\}$ ).

## Список літератури

1. Межуев В.І. Технології та інструментальні засоби предметно-орієнтованого моделювання / В.І. Межуев // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2010. - №3 (15). – С. 102-106.
2. Domain-Specific Development with Visual Studio DSL Tools / Steve Cook, Gareth Jones, Stuart Kent, and Alan Cameron Wills. - Addison-Wesley Professional. - 576 p.
3. Richard C. Gronback. Eclipse Modeling Project: A Domain-Specific Language (DSL) Toolkit / Richard C. Gronback. - Addison-Wesley Professional. - 2009. - 736 p.
4. Межуев В.И. Применение технологии предметно-ориентированного моделирования для проектирования метаматериалов / В.И. Межуев // Проблемы информатизации и управления. - 2010. - № 3(31). – С. 77-82.
5. Межуев В.І. Предметно-орієнтоване моделювання та організація процесів системної інженерії / В.І. Межуев // Вісник Хмельницького національного університету. - 2010. - №4. (160). – 133-138.

6. Киндлер Е. Языки моделирования / Киндлер Е.; пер. с чеш. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 288 с.
7. Григорьев А.В. Концептуальная модель оболочки для построения интеллектуальных САПР вычислительной техники как средство предметной адаптации / А.В. Григорьев // Збірник наукових праць ДонНТУ. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – 2009. – Вип. 10(153). – С. 255-265.
8. Григорьев А.В. Анализ специфики задачи проблемной адаптации САПР в современных условиях / А.В. Григорьев // Збірник наукових праць ДонНТУ. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – 2011. – Вип. 13(185). – С. 206-215.
9. Тарский А. Введение в логику и методологию дедуктивных наук / А. Тарский : пер. с англ. - М.: Государственное издательство иностранной литературы, 1948. – 327 с.
10. Рассел, Бертран. Человеческое познание. Его сфера и границы / Рассел, Бертран. - М.: Ника-Центр. – 2001. – 560 с.
11. Хомский Н. Аспекты теории синтаксиса / Н. Хомский: пер. с англ. – М.: Изд.-во МГУ, 1972. – 260 с.
12. Рейуорд-Смит В.Дж. Теория формальных языков / Рейуорд-Смит В.Дж. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
13. Prusinkiewicz, Przemyslaw; Lindenmayer, Aristid. The Algorithmic Beauty of Plants. - NY: Springer Verlag, 1990. - 228pp.
14. Whitehead, Alfred North and Bertrand Russell. Principia Mathematica. - 3 Vols. - Cambridge University Press, 1910, 1912, and 1913.
15. Robin Milner. Mads Tofte and Robert Harper. The Definition of Standard ML / Robin Milner. – MIT Press. - 1990. – 114.
16. Introduction to HOL: a theorem proving environment for higher order logic / Mike Gordon and Tom Melham (eds.). – Cambridge University Press, 1993. – 472 pp.
17. Филд А. Функциональное программирование / А. Филд, П. Харрисон. — М.: Мир, 1993. — 637 с.

*Надійшла до редколегії 10.04.2011*

#### **В.И. МЕЖУЕВ**

Бердянский государственный педагогический университет

#### **Лингвистический подход к рассмотрению архитектуры инструментов предметно-ориентированного математического моделирования**

В статье рассматриваются принципы новой информационной технологии предметно-ориентированного математического моделирования (DSMM) и архитектура соответствующих инструментальных средств. Идея DSMM состоит в интеграции лингвистического подхода к разработке метамоделей (языков моделирования) и математических методов моделирования предметных областей

*Предметно-ориентированное моделирование, метамоделей, языки моделирования*

#### **V.I. MEZHUYEV**

Berdyansk state pedagogical university

#### **Language approach for consideration of architecture of tools of domain-specific mathematical modelling**

In the paper the principles of new information technology of domain-specific mathematical modelling (DSMM) and architecture of supporting tools are considered. The idea of DSMM is the integration of the language approach for metamodels (modelling languages) development and mathematical methods of domains modelling.

*Domain-specific modelling, metamodels, modelling languages*