

УДК 681.3.06

І.В. Редько

## ПРОЦЕСОЛОГІЧНІ СЕРЕДОВИЩА МОДЕЛЮВАННЯ

Розвиваються інтенціональні засади моделювання. Дається розгорнута експлікація понять дескриптивного процесу. Досліджуються процесологічні аспекти моделювання предметних областей. Вводяться поняття часткової функції, акції та їх виконання в процесологічному середовищі.

**Вступ**

Дана стаття продовжує серію робіт, присвячених розвитку інтенціональних засад інформатики в цілому та моделювання зокрема. Розвиток інтенціональних платформ пов'язують з роботами Г. Фреге, який запропонував до розглядів, окрім традиційних (екстенсіональних) властивостей об'єкта — "ім'я" як форма його представлення та "денотат" як його значення, залучити так званій інтенціонал об'єкта — його зміст (сенси) і при цьому трактувати значення об'єкта як функцію його змісту. Така тріада властивостей об'єкта отримала назву трикутника Фреге. Цей підхід як натурфілософська платформа досліджень суттєво розвиває традиційні платформи, що базуються на принципі екстенсіональності: будь-які дві чи більше характеристичних властивостей денотата, зокрема класу або множини, не розпізнаються. Тобто розпізнання цих властивостей є зовнішньою, а не внутрішньою властивістю самої екстенсіональної платформи. У випадку теоретико-множинної платформи ця властивість задається відомою аксіомою екстенсіональності (об'ємності): множини  $A$  та  $B$  рівні тоді і тільки тоді, коли з того, що  $a \in A$ , випливає, що  $a \in B$  і навпаки. Як бачимо, всі відношення між елементами та множинами, окрім відношення приналежності  $\in$ , інкапсулюються, тобто є прозорими.

Визнання екстенсіональної платформи було великим позитивом для вирішення принципів задач математики, логіки та багатьох інших традиційних галузей досліджень. Основною характеристичною властивістю вирішуваних задач була їх "статичність",

тобто акцентція уваги саме на предмет досліджень, його даність ззовні. В якості прикладів екстенсіонального підходу в дослідженнях можна навести такі, коли вивчення функцій зводиться до вивчення властивостей заданих функцій, дослідження руху планет — до вивчення руху заданої планети і т.п. Але ж зрозуміло, що хоча вирішення наведених та подібних задач є дуже важливим, вони є надзвичайно вузькими класами задач у своїх предметних областях. Для згаданих областей задачами, що принципово не можуть бути розглянуті в рамках екстенсіональної платформи, є, наприклад, такі, які пов'язані з виконанням функцій, та задачі дослідження причин, котрі спонукали рух планет, і т.п. Тобто задачі, в яких досліджуються не власне об'єкти або явища, а в першу чергу процеси (причини) створення (виникнення) останніх. Очевидно, що хоча така постановка теоретично завжди мала право на існування, практично любі дослідження тільки тоді мають сенс, коли вони підкріплені прагматикою. Це об'єктивне явище. Не виключення тут є навіть математика. Наприклад, століття, якщо не тисячоліття, людство мало справу з неперервними функціями, але їх природа як поняття була розкрита тільки в роботах Коші, Вейєрштрасса та ін. Аналогічно надзвичайна потужність теоретико-множинної платформи обумовила розвиток традиційних розділів математики на базі екстенсіональних підходів, а інтенсіональні платформи до пори були практично забуті.

Серйозні мотивації до реанімації інтенсіональних підходів з'явилися з виникненням інформатики. Принциповим стало те, що в рамках традиційних

екстенціональних підходів неможливо вирішувати основні задачі інформатики як самостійної науки. Адже, змістовно кажучи, для інформатики, зокрема програмування та моделювання, принциповими є не стільки дослідження заданих об'єктів (цим займаються, наприклад, традиційні розділи математики), скільки *процеси* їх отримання. А це якраз і означає залучення поряд із самим об'єктом його інтенціоналу (змісту), яким в інформатиці виступає поняття процесу. Очевидно, що дані типи задач в принципі не можуть бути вирішені на базі екстенціональних платформ. Адже найголовнішим тут є саме відхід від екстенціональності їх розглядів, за яких важливі для інформатики властивості об'єкта інкапсулюються. Конкретно це, наприклад, виражається в тому, що на рівні екстенціональної платформи машина Тьюринга, яка реалізує множення матриць, і відповідна Pascal-програма не розрізняються, тобто є одним об'єктом — *реалізацією* функції множення матриць (процес реалізації інкапсульований). Іншим прикладом може слугувати спроба *адекватного суті* формального уточнення поняття часткової (не всюди визначеної) функції в рамках екстенціональної (теоретико-множинної) платформи. Зрозуміло, в загальному випадку це неможливо зробити хоча б тому, що існує безліч конкретних прикладів функцій, для яких принципово не визначаються ОДЗ. Пов'язано це з тим, що в рамках екстенціональних розглядів неможливо відобразити суттєву динамічність поняття *невизначеності* функції, яке в першу чергу пов'язане з *процесом* її (функції) виконання. Ряд репрезентативних прикладів можна продовжити. Але думається, що і без цього очевидна неадекватність екстенціональних платформ для вирішення принципових задач інформатики, і в першу чергу програмування та моделювання.

З вищезазначеного випливає, що побудова адекватного суті задач інформатики теоретичного підґрунтя їх вирішення можлива тільки на шляху відкриття загальнозначущих і в цьому се-

нсі логічних механізмів вирішення їх (задач) в рамках інтенціонального підходу. З нашої точки зору, така побудова може і повинні бути проведена тільки як інтенціональний розвиток існуючих традиційних екстенціональних платформ, і в першу чергу теоретико-множинної платформи як основи сучасної математики. Це передбачає поряд з використанням всієї сили традиційної понятійної бази (екстенціональний рівень) *створення як принципово нової системи понять*, що відображають інтенціональний рівень розглядів, так і відповідних *інтерфейсних міжрівневих механізмів*, що забезпечують концептуальну єдність платформи. Створення такої системи базується на виділенні її визначальної парадигми як системостворюючої основи для подальших досліджень. Що стосується моделювання, то в якості відправної точки розглядів оберемо тезу про те, що *моделювання* є процесом побудови моделей. Таким чином, *процеси* — визначальна парадигма моделювання. Розкрити природу моделювання — означає розкрити природу процесів, тобто розглянути поняття процесу в контексті адекватного розподілу його різноманітних властивостей на загальнозначущі й у цьому сенсі логічні властивості і специфічні, що відображають особливості предметних областей, шляхом поступового і мотивованого формування *процесологічного середовища моделювання*. При цьому зазначимо, що всі використані і не викладені в даній статті поняття і результати розуміються в сенсі [1].

### ***Категорія процесу в першому наближенні***

В першому наближенні, *процес* — це *організоване виконання дій*. Звідси безпосередньо випливає, що подальше розгортання поняття процесу пов'язане з розкриттям, в першу чергу, природи самої дії. На змістовному рівні дія — це об'єкт, стосовно якого можна коректно говорити про його причини та про його наслідок, який трактується як результат взаємовпливів причин дії.

Наслідок як результат дії може бути *термінальним* і *нетермінальним*, а дія, відповідно, *термінальною* та *нетермінальною*. При цьому термінальний наслідок інтерпретується як об'єкт універсуму об'єктів  $O$ . Нетермінальний наслідок не є об'єктом універсуму  $O$  і може трактуватись, наприклад, як дія, що не завершується (нетермінальна дія).

Зазначимо, що термінальна та нетермінальна дії є різними видами сутностей. Виходячи з того, що конструктивно розпізнати вид сутності тієї чи іншої конкретної дії в принципі неможливо, природним видається відобразити цю неможливість на рівні об'єкта дії, інкапсулюючи тип його наслідку і залишаючи в розгляді тільки властивість останнього *мати наслідок*. Це означає, що розгляд питання про інтерпретацію наслідку дії, а значить, і визначення виду дії (термінальна або нетермінальна) виноситься на більш конкретний рівень предметних теорій.

Таким чином, тільки наслідки термінальних дій можуть виступати в ролі об'єктів розгляду. Що ж до дій, які не є завідомо термінальними, то відносно їх наслідків можна стверджувати тільки те, що вони існують, але специфіка цих наслідків на даному рівні розглядів прозора. Тобто в останньому випадку наслідком взаємовпливів причин дії є сама дія, яка є об'єктом універсуму.

Звернемось тепер до причин дії, що викликають наслідок. Кожна з них є об'єктом універсуму  $O$ . Зібрання всіх таких об'єктів дії є *сутністю*, яка повністю характеризується тим, що має визначені і не співпадаючі складові (об'єкти), які відіграють роль причин дії. Причому, виходячи з прагматики розглядів, обмежимося розглядом тільки скінчених зібрань. Зібрання, утворені  $n$ -об'єктами, домовимось називати *n-адами*. Конкретно, при  $n=1$  — *монадами*,  $n=2$  — *біадами*,  $n=3$  — *тріадами* і т.д. В загальному випадку, коли значення  $n$  не є суттєвим, такі зібрання будемо називати *поліадами*.

Таким чином, поліада розглядається максимально загально і не обтяжена навіть властивістю бути множи-

ною та навіть властивістю бути єдиним (цільним) об'єктом<sup>1</sup>.

Пояснимо це більш докладно. Поняття поліади, згідно з його визначенням, дуже близьке по своїй суті до поняття множини за Кантором<sup>2</sup>, але при цьому істотно відмінне від нього. Основна відмінність полягає в тому, що від поліади не вимагається бути єдиним об'єктом універсуму. Тобто поліади, за виключенням монад, знаходяться поза універсумом об'єктів  $O$ . В цьому сенсі поліада є сутністю, конкретизація якої у вигляді, наприклад, об'єкта, множини і т.п. переноситься на відповідну предметну теорію. Тут деякою мірою можна провести аналогію зі співвідношенням між сутністю "таблиця" та її конкретизацією у вигляді, наприклад, реляції (реляційна модель даних). Узагальнюючи, можна сказати, що властивість приналежності зібрання причин дії до універсуму об'єктів  $O$  є зовнішньою властивістю по відношенню до поняття дії в цілому, тобто такою, що ніяким чином не використовується для адекватного суті розкриття природи дії (дана ситуація є відображенням добре відомого співвідношення власне сутності та можливих форм її представлення<sup>3</sup>). Разом з тим сказане не виключає розгляду дій, причиною яких є, наприклад, деяка множина об'єктів з  $O$ . Проте в такому випадку ми маємо справу з так званою монадною дією, зібрання причин якої є монадою. Зазначимо, що за аналогією з попереднім біадними, трі-

<sup>1</sup> Суттєвим є те, що метод формування зібрання причин дії є прозорим. В загальному випадку поліада не є результатом дії, хоча в окремих випадках, наприклад, коли поліада є монадою, це не виключається. Таким чином забезпечується незамкнення логіки розглядів відносно механізмів формування поліади дії.

<sup>2</sup> Множина або сукупність — це зібрання визначених і не співпадаючих об'єктів нашої інтуїції або інтелекту, що розуміється як ціле (єдине) [2, с.31].

<sup>3</sup> Обираючи якусь конкретну форму представлення сутності поліади, ми автоматично пов'язуємо розгляд відповідної дії з механізмом породження конкретної форми представлення поліади (множини, кортежу і т.п.). Таким чином звужуємо розгляд всіх можливих дій до розглядів дій з відомими механізмами формування зібрання причин дії. Проте сукупність таких механізмів є, очевидно, відкритою системою і, значить, на рівні логіки вони не можуть бути залучені.

адними,  $n$ -адними і загалом поліадними будемо називати дії, зібрання причин яких створюють відповідно біаду, тріаду,  $n$ -аду та поліаду відповідно.

Введене поняття дії являє собою строгу експлікацію сутності дії в рамках експлікації категорії процесу.

Подальше розгортання поняття процесу як організованого виконання дій експлікативно зводиться до скоординованого виконання спеціальним чином організованих множин дій. Природа організації згаданих множин дій зводиться до задоволення ними *принципу детермінованості*. Суть його в тому, що наслідок будь-якої дії з цієї множини однозначно визначається відповідною поліадою. Надалі такі множини дій будемо називати *акціями*. Таким чином, приходимо до розуміння поняття *процесу як скоординованого виконання акцій*. А це означає, що розкриття суті процесу в першу чергу пов'язується з поняттям акції.

### ***Загальна природа акції***

Конкретизація поняття акції пов'язана з тим, що природа взаємовпливів причин, які спонукають дію, у випадках монадних та немонадних дій принципово різні. Це підрозділяє всю множину акцій на два типи. До першого відносяться так звані монадні акції, що складаються лише з монадних дій. Взаємовпливи причин в діях цих акцій носять рудиментарний характер і експлікативно зводяться до *співставлення* монадам як об'єктам універсуму  $O$  відповідних наслідків (термінальних або ні). Зазначимо, що у випадку, коли наслідки всіх дій акції термінальні, остання уточнюється як функція, що задається функціональним бінарним відношенням, а принцип детермінованості зводиться до відомого принципу функціональності бінарних відношень. Якщо ж в акції допускаються нетермінальні дії, то зрозуміло, що такі акції в принципі не можуть бути уточнені у вигляді функціональних бінарних відношень. Однак, віддаючи данину традиціям, домовимось монадні акції називати *функціями* або акціями функці-

онального типу. У випадку, коли потрібно конкретизувати види функцій, монадні акції, всі дії яких є термінальними, будемо називати *тотальними функціями*. У випадку ж, коли деякі з дій є не термінальними, — *частковими функціями*. Зазначимо, що такі домовленості ні в якій мірі не зобов'язують нас до формального ототожнення акцій функціонального типу з традиційними функціями, що уточнюються в рамках, наприклад, теоретико-множинної платформи. Цим ми тільки прагнемо підкреслити відносну подібність даних двох понять.

Що ж стосується немонадних акцій, то навіть називати їх функціями, на наш погляд, є некоректним. Справа в тому, що дії таких акцій в загальному випадку можуть мати не одну, а декілька причин. Тому взаємовпливи останніх, які обумовлюють відповідну дію, принципово відрізняються від "автовпливів", характерних для монадних акцій. Тобто дія немонадної акції спонукається внутрішніми властивостями взаємовпливів об'єктів поліади, а не зовнішнім відношенням співставлення монаді як об'єкту універсуму нового об'єкта з  $O$ . Беручи до уваги цю явну не функціональну властивість немонадних акцій, домовимось називати їх *акціями нефункціонального типу* або просто акціями.

Як вже зазначалось, до акції можуть входити дії різної адності. Якщо ж акція містить дії тільки однієї адності, то вона, за аналогією з поліадами, називається у випадку  $n=2$  — біадною,  $n=3$  — тріадною і в загальному випадку —  $n$ -адною або поліадною акцією.

### ***Експлікативне розгортання поняття акції***

Введене поняття акції надто загальне і потребує подальшої конкретизації. Це стосується в першу чергу розкриття природи взаємовпливів між об'єктами поліади. Останнє можливо здійснити, наприклад, шляхом більш ретельного розгляду самих об'єктів поліади. На наш погляд, є сенс подивитись на причини дії не як на просто

об'єкти, а як на структуровані об'єкти. Їх структура якраз і обумовлена природою взаємовпливів об'єктів. Вона характеризується так званим відношенням *ідентифікації*, що передбачає наявність як об'єкта, що ідентифікується (*ідентифікант*), так і об'єкта, який здійснює таку ідентифікацію (*ідентифікатор*). Виходячи з зазначеного є всі підстави розглядати об'єкт-причину як *ідентифікатний об'єкт* типу *біполя* [3], самі об'єкти виділити в окремий клас *ідентифікатних об'єктів*, а наряду з поліадою розглядати також її схему як множину всіх ідентифікаторів ідентифікатних об'єктів, що входять в поліаду. Це дозволяє нам разом із загальним поняттям акції розглянути суттєво більш конкретний клас *ідентифікатних акцій* як множин дій, причинами яких виступають поліади ідентифікатних об'єктів з однією схемою.

Зазначимо, що властивість об'єкта бути ідентифікованим є його внутрішньою властивістю, а відношення ідентифікації є в цьому сенсі сутністю згаданої властивості. Це означає, що як відношення ідентифікації, так і ідентифікований об'єкт можна розглядати принаймні з двох точок зору: поперше, на рівні об'єкта, якому властива ідентифікація на рівні сутності, тобто коли сам спосіб ідентифікації не залучається до розглядів, і, по-друге, на рівні конкретизації такого способу, тобто залучаючи ззовні ті чи інші можливі способи ідентифікації. Такий розгляд об'єктів складає основу двоєдиного абстрактно-інкапсулятивного підходу до моделювання. Він означає, що в кожному конкретному випадку до розглядів залучаються ті й тільки ті властивості об'єкта, як моделі сутності, які прагматично і ситуативно виправдані. А це в свою чергу дозволяє при побудові моделей *не обмежуватись тільки механізмами наслідування*, що властиве об'єктно-орієнтованому підходу, і означає перехід в розглядах від рівнів абстракції до типів абстракції. В якості прикладу наведемо найпростіший об'єкт  $x + y$ . Наприклад, його можна розглядати як слово в алфавіті  $\{x, y, +\}$  з

подальшою інтерпретацією, як  $(x, y)$ -арну іменну функцію, як біадну акцію. Суть полягає в тому, що всі ці розгляди принципово різних типів і нав'язування відношення наслідування тут є у меншій мірі штучним.

При цьому, однак, потрібно зауважувати, що необхідно не тільки визначити самі типи абстракції, але й, і це найголовніше, створити відповідні інтерфейсні міжтипові механізми, які в об'єктно-орієнтованому підході були обумовлені наявністю рівнів наслідування об'єктів.

Що стосується типів абстракції розглядів як відношення ідентифікації, так і біполю *ідентифікатор – ідентифікант*, то вони обумовлені конкретними способами реалізації відношення ідентифікації. З прагматичної точки зору доцільно розглянути такі:

– відношення *репрезентації* і відповідно біполь *репрезентатор – репрезентант*;

– відношення *іменування* і відповідно біполь *ім'я – генотат*.

Перший тип експлікує випадок, коли в розглядах об'єкта використовується властивість його ідентифікатора відігравати роль репрезентатора об'єкта. Поняття репрезентатора подібне до традиційного поняття типу. Але при цьому суттєво відмінне від нього. Відмінність полягає в тому, що з типом звичайно пов'язується механізм його уточнення — *множина*. У випадку репрезентатора до розгляду залучається тільки його властивість репрезентувати деяку конкретну роль репрезентанта, але механізм репрезентації прозорий. Що ж стосується біполю репрезентатор – репрезентант і відношення репрезентації, то на інтенціональному рівні їх розглядів залучається тільки та властивість, що сутністю згаданого біполю є *монадна дія репрезентації* і відповідно сутністю відношення репрезентації є *множина всіх таких монадних дій*.<sup>1</sup> Даний тип відношення іден-

<sup>1</sup> Відповідно до відомого поняття трикутника Фреге [5], репрезентант є функцією сенсу (рос. смысл), в ролі якого виступає монадна дія репрезентації.

тифікації залучає до розглядів роль (розуміння) *ідентифікатної акції* як *репрезентатної акції*.

Другий тип експлікує випадок, коли ідентифікація об'єкта здійснюється через механізм іменування [4]. Тобто в даному випадку до розглядів залучається інша властивість сутності ідентифікатора — бути *іменем* ідентифіканта. Зазначимо, що такий розгляд відношення ідентифікації є суттєво більш конкретним на відміну від попереднього. Ця конкретика накладає відбиток не тільки на об'єкти поліади, але й обумовлює більш конкретний розгляд самої поліади як монади, єдиним об'єктом якої є множина ідентифікатних об'єктів, що більш конкретно може інтерпретуватись як іменна множина [4]. Це зводить розгляди *ідентифікатних акцій* до розглядів монадних акцій, причому об'єктом відповідної монади є іменна множина, тобто, враховуючи наші попередні домовленості, до іменних функцій.

Таким чином, ідентифікатор як сутність об'єднує в собі дві ролі, в яких він може виступати: репрезентатора та імені. При чому ці ролі не наслідують одна одну, а лише дають можливість розглядати єдину сутність з двох рівноправних точок зору. Ситуація тут аналогічна, наприклад, сприйняттю сутності додавання, яка в кожному конкретному випадку може розглядатись як відповідна операція +, наприклад, над цілими або над дійсними числами. Сутність одна, але використовуються різні її ролі.

Таким чином, прийшли до необхідності типізації універсуму ідентифікатних акцій, залучаючи до розглядів два види — *репрезентатні акції* та *іменні функції*.

### ***Виконання акцій***

Парадигматичною особливістю даних розглядів є розкриття природи дій, функцій і акцій з інтенціональної точки зору. Тобто дослідження цих понять під кутом зору відповідних їм процесів. Такий підхід істотно нетрадиційний і не тільки завдяки розгляду

таких понять, як дії та акції. В першу чергу це пов'язано з тим, що прагматика традиційних досліджень через їхню орієнтованість на високоінтелектуального користувача полягає в розкритті законів взаємодії об'єктів, зокрема функцій, дослідженні їхніх властивостей і особливостей побудови. Іншими словами, в акцентації уваги на кінцевий результат процесу, а не на його внутрішню структуру. При цьому ми свідомо абстрагуємося від такого найважливішого аспекту будь-якого об'єкта дослідження, як його подальше використання (застосування). У такий спосіб у главу кута ставиться задача одержання (синтезу) об'єкта, а питання виконання (використання) його передбачається вирішувати у кожному конкретному випадку окремо. Такий підхід має ряд вагомих переваг, таких, як, наприклад, адекватність обраного рівня абстракції розглядів прагматиці традиційних досліджень, відносна простота формальної моделі і т.п. Однак інформатика привнесла в дослідження якісно нові сутності, зробивши головним те, що було другорядним раніше. Істотним стало не просто довести існування деякого об'єкта та дослідити його властивості, а, в першу чергу, дати процедуру його використання (застосування). Зокрема, для об'єктів акцій цей аспект зводиться до розкриття природи їх виконань.

На змістовному рівні під виконанням акції на поліаді розуміємо дію з акції з відповідною поліадою. Але такий підхід, не дивлячись на його нетрадиційність, є за суттю екстенціональним тому, що акцентує увагу на результат виконання — дію, а не на сам процес отримання результату.

Традиційно, відповідно до вище наведеного, поняття виконання не розглядалось самотійно, а лише в прив'язці до деякого об'єкта, наприклад, функції. На інтенціональному рівні ми повинні розглянути виконання з процесної точки зору, як самотійне поняття. Як процес, виконання будь-якої акції є перетворення її у відповідну дію. Причому дане перетворення

суттєво залежить в першу чергу від поліади, відносно якої воно виконується. Що ж стосується акції, то процес перетворення може бути зведений, наприклад, до пошуку в акції дії з відповідною поліадою. Зважаючи на те, що поліада на відміну від акції не є об'єктом універсуму, механізм її отримання є прозорим. Але виходячи із зазначеного логіка процесу виконання акції суттєвим чином залежить від такого механізму. Адже для виконання акції необхідно задати поліаду. Тому немає іншого шляху відобразити на рівні логіки виконання акції прозорість механізму отримання поліади, як тільки розглянути виконання як параметричну операцію, де параметром виступає поліада. Узагальнюючи, скажемо, що виконання акцій на заданій поліаді (параметр) — це монадна акція, монадами якої в свою чергу виступають акції з універсуму  $O$ . Результатом виконання цієї монадної акції є її дія з відповідною поліадою.

Наступний крок в розкритті природи виконань полягає в типізації їх відповідно до ступеня деталізації розглядів самих виконуваних акцій. Така типізація обумовлена розглядом наряду з загальним поняттям акції більш конкретного поняття ідентифікатної акції. Конкретизація акцій знаходить суттєве відображення в організації їх виконань. Тому розгляд поняття виконання акції зводиться до розгляду двох типів монадних акцій:

— *аплікативне виконання акцій*, зокрема функцій  $Ap^p$ ,

— *ідентифікатне виконання акцій*  $Ex^{[s_1, s_2, \dots, s_m]}$ ,

де  $p$  — деяка поліада, а  $[s_1, s_2, \dots, s_m]$  — поліада ідентифікатних об'єктів  $s_1, s_2, \dots, s_m$ .

Під *аплікативним виконанням акцій* (коротко, аплікацією) розуміємо монадну акцію (функцію)  $Ap^p$ , виконання якої на деякій акції  $\alpha$  ставить останній у відповідність її дію  $Ap^p(\alpha)$ , поліадою якої є  $p$ . У випадку, коли та-

кої дії в  $\alpha$  немає, результат виконання вважається невизначеним.

Під *ідентифікатним виконанням* (коротко, виконанням) акцій розуміємо монадну акцію (функцію)  $Ex^{[s_1, s_2, \dots, s_m]}$ , виконання якої на деякій ідентифікатній акції  $\beta\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  зі схемою  $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  ставить останній у відповідність нову акцію (можливо 0-адну, тобто просто дію), отриману з  $\beta\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  шляхом вибору з неї і тільки тих дій, ідентифікатні об'єкти поліад яких з ідентифікаторами з множини  $S \cap \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ , де  $S$  — схема поліади  $[s_1, s_2, \dots, s_m]$  співпадають з відповідними ідентифікатними об'єктами згаданої поліади.

Очевидно, що операція ідентифікатного виконання  $Ex^{[s_1, s_2, \dots, s_m]}$  є узагальненням введеної раніше аплікації  $Ap^p$ . Проте на відміну від  $Ap^p$ , результатом якої завжди є дія (тобто повне виконання), у випадку з  $Ex^{[s_1, s_2, \dots, s_m]}$  можливе часткове (ліниве) виконання вихідних акцій. Щоб децю "оживити" дані визначення, наведемо декілька простих прикладів. Розглянемо аплікації  $Ap^{[2,3]}$ ,  $Ap^{[4,3]}$  на акціях додавання  $+$  і множення  $*$  та виконання  $Ex^{[(x,2),(y,3),(z,0)]}$  на ідентифікатних акціях  $x + y$ ,  $y * u$  та  $x + \frac{y}{z}$ . В результаті аплікацій отримаємо дії  $Ap^{[2,3]}(+) = 2 + 3$ ,  $Ap^{[4,3]}(*) = 4 * 3$ , а в результаті виконань — відповідно акції

$$Ex^{[(x,2),(y,3),(z,0)]}(x + y) = 2 + 3,$$

$$Ex^{[(x,2),(y,3),(z,0)]}(y * u) = 3 * u \text{ та}$$

$$Ex^{[(x,2),(y,3),(z,0)]}\left(x + \frac{y}{z}\right) = 2 + \frac{3}{0}.$$

Цими визначеннями здійснений важливий крок в експлікації поняття процесу в рамках спеціального процесного макросередовища, що представляє собою *універсум об'єктів*, зокрема *функцій і акцій*  $O$ , з введеними на ньому операціями аплікації  $Ap^p$  і ви-

конання  $Ex^{[s_1, s_2, \dots, s_m]}$ . Дане середовище в першому наближенні може розглядатися як основа *процесологічного середовища моделювання*. Однак обмежитись таким процесним макросередовищем не можна. Такий підхід був би занадто абстрактним і, як наслідок, малозмістовним. Адже парадигматичною особливістю цього макросередовища є даність ззовні самого універсуму  $O$ . Через нетрадиційність поняття акції така даність представляється занадто сильним припущенням, щоб усі наступні висновки в рамках згаданого макросередовища мали який-небудь самостійний інтерес. Адже таке спеціальне процесне макросередовище призначене лише для виконання акцій і функцій з  $O$ . Ні структура універсума, ні закони породження його складових не є тут предметом досліджень. Тому, як відзначалося, необхідний розвиток процесного макросередовища шляхом поповнення його спеціальними інтерфейсними засобами, що реалізують взаємозв'язок між традиційними типами абстракції (кортеж, множина, функція) і нетрадиційними типами абстракції (поліада, часткова функція, акція).

### **Процесологічне макросередовище**

Фундаментальним нетрадиційним поняттям є акція, а основним традиційним — абстрактна функція. У зв'язку з принциповою відмінністю цих двох понять, встановлення безпосереднього інтерфейсу між ними є надзвичайно складною і разом з тим неадекватною суті розглядів задачею. Набагато природніше спробувати побудувати згаданий інтерфейс поетапно, через побудову серії більш простих інтерфейсних засобів між відносно спорідненими поняттями. Ряд цих понять, з нашої точки зору, природно побудувати так: *функція* ↔ *кортежна ( $n$ -арна) функція* ↔ *іменна функція* ↔ *акція*.

Дамо визначення цих інтерфейсів. Загальним для них є те, що всі вони реалізуються через механізми виключення та введення відповідних типів абстракцій. Розглянемо спочатку ланку *іменна функція* ↔ *акція*. Тут інтер-

фейси забезпечуються двома монадними акціями (функціями): *Con* — виключення абстракції акції (конкретор) та *Ab* — введення абстракції акції (абстрактор).

Виключення абстракції акції *Con* є монадною акцією (функцією), що співставляє будь-якій ідентифікатній акції  $\alpha$  поліарну іменну функцію  $Con(\alpha)$ , яка будується по  $\alpha$  шляхом, по-перше, конкретизації ідентифікатних поліад дій з  $\alpha$  через множини ідентифікатних об'єктів (ідентифікатні множини) до іменних множин (див. розд. Експлікативне розгортання поняття акції) і, по-друге, співставлення кожній такій множині результату виконання акції  $\alpha$  на відповідній поліаді.

Введення абстракції акції *Ab* є монадною акцією (функцією), що співставляє будь-якій поліарній іменній функції  $f$  ідентифікатну акцію  $Ab(f)$ , яка будується по  $f$  шляхом, по-перше, узагальнення відповідних іменних множин  $s$  з  $f$  через множини ідентифікатних об'єктів до ідентифікатних поліад (див. розд. Експлікативне розгортання поняття акції) і, по-друге, співставлення кожній такій поліаді значення  $f(s)$  в якості наслідку відповідної дії акції  $Ab(f)$ .

Наступна ланка — *кортежна ( $n$ -арна) функція* ↔ *іменна функція*. Аналогічно до попереднього визначимо монадні акції  $Con^c$  — виключення абстракції кортежної функції та  $Ab^c$  — введення.

Виключення абстракції кортежної функції  $Con^c$  є монадною акцією (функцією), що співставляє будь-якій кортежній функції  $f^c$  іменну функцію  $Con^c(f^c)$ , яка будується по  $f^c$  шляхом, по-перше, конкретизації кожного з кортежів  $c$  з  $f^c$  до іменних множин із стандартними іменами [4] і, по-друге, співставлення кожній такій множині значення  $f^c(c)$ .

Введення абстракції акції  $Ab^c$  є монадною акцією (функцією), що спів-



ставляє будь-якій  $\{1, 2, \dots, m\}$ -арній іменній функції  $f^n$ ,  $m \in N$ , кортежну функцію  $Ab^c(f^n)$ , яка будується по  $f^n$  шляхом, по-перше, узагальнення відповідних іменних множин  $s$  з  $f^n$  до відповідних кортежів  $i$ , по-друге, співставлення кожному такому кортежу значення  $f^n(s)$  в якості результату функції  $Ab^c(f^n)$  на цьому кортежі.

Нарешті, розглянемо останню ланку *функція*  $\leftrightarrow$  *кортежна функція*. По аналогії з попереднім під виключенням абстракції функції  $Con^f$  розуміємо монадну акцію (функцію), що співставляє будь якій функції  $g$  відповідну унарну функцію  $Con^f(g)$ . Введення абстракції  $Ab^f$  визначається дуальним чином.

Визначенням даних груп інтерфейсів здійснено розвиток введеного раніше процесного макросередовища до процесологічного макросередовища моделювання як універсуму об'єктів  $O$  з введеними на ньому функціями  $Ap^p, Ex^{[s_1, s_2, \dots, s_m]}, Con, Ab, Con^c, Ab^c, Con^f, Ab^f$ .

### Процесологічне мікросередовище

Основним призначенням введеного процесологічного макросередовища було визначення, по-перше, поняття виконання акцій (функцій)  $i$ , по-друге, основних типів абстракції розглядів об'єктів універсуму та відповідних міжтипових інтерфейсів. Головна ж задача процесологічного мікросередовища — визначення основних внутрішньотипових інструментів роботи з об'єктами. Основу таких інструментів складають впливи, якими характеризуються об'єкти кожного типу. Впливи, відповідно до [1], експлікативно зводяться до *застосувань* об'єктів один до одного. Це змушує нас до більш глибокого проникнення в природу таких застосувань.

Згадані типи абстракції можна умовно поділити на два класи. До першого відносяться об'єкти типу поліади, дії та акції. До другого — абстрактні об'єкти та функції, кортежі та кортеж-

ні функції, іменні множини та іменні функції. Розглянемо коротко застосування, властиві кожному з цих класів.

Застосування першого класу експлікативно зводяться до операцій (функцій) параметризації  $Par$ , суперпозиції  $Sup$  та транспозиції  $Tr$ .  $Sup$  докладно розглянута в [1, 3], а  $Tr$  є природним узагальненням операції генералізації  $Gen$  [1, 3] на випадок поліад. Тому тут введемо тільки одне з можливих визначень операції параметризації. Під операцією параметризації  $Par$  розуміємо бінарну операцію, що співставляє парі  $(S, \alpha\{t_1, t_2, \dots, t_n\})$ , де  $S$  — деяка множина ідентифікаторів (наприклад, схема поліади), а  $\alpha\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  — ідентифікатна акція зі схемою  $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ , ідентифікатну акцію  $Par(S, \alpha\{t_1, t_2, \dots, t_n\})$  зі схемою  $S \cap \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ , результатом виконання якої на поліаді  $p$  зі схемою  $S \cap \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  є акція  $Ex^p(\alpha\{t_1, t_2, \dots, t_n\})$ .

Для ілюстрації даної операції наведемо простий приклад. Нехай дана ідентифікатна акція  $x + yz$  зі схемою  $\{x, y, z\}$ . Застосуємо до неї операцію параметризації  $Par(\{x, u\}, x + yz)$ . Результатом такого застосування буде акція, що залежить від значень ідентифікаторів з множини  $\{x, u\} \cap \{x, y, z\} = \{x\}$ , тобто функція  $f(x)$ , котра будь-якому значенню  $x = a$  ставить у відповідність нову акцію  $Ex^{[x, a]}(x + yz)$ , тобто  $f(a) = Ex^{[x, a]}(x + yz) = a + yz$ . Таким чином, операція  $Par$  фактично породжує клас параметрично залежних від значення  $x$  акцій. А це очевидно означає, що операція  $\lambda$ -абстракції [6] є частковим випадком операції  $Par$ .

Застосування другого класу експлікативно зводяться до класів абстрактних, іменних та метаіменних біпольних функцій. Всі вони введені і докладно розглянуті в [3]. Тому тут обмежимося тільки переліком їх визначень.

До класу абстрактних операцій відносяться біпольні функції *абстракт-*

тного заміщення  $\bar{\nabla}$ , аплікації  $Ap$ , множинної аплікації  $Ap^s$  та множення  $\cdot$ .

Під абстрактним заміщенням розуміється бінарна (біпольна) операція  $\bar{\nabla}$ , що ставить у відповідність кожній парі  $(a, b)$  об'єкт  $a\bar{\nabla}b = b$ .

Під аплікацією будемо розуміти бінарну (біпольну) операцію  $Ap$ , що кожній парі  $(a, f)$ , де  $a$  — об'єкт, а  $f$  — об'єкт типу функції, ставить у відповідність результат застосування функції  $f$  до об'єкта  $a$  як аргументу і дорівнює значенню функції  $f$  на  $a$ , що позначається  $f(a)$ , тобто  $Ap(a, f) = f(a)$ .

Під множинною аплікацією розуміється біпольна операція  $Ap^s$ , що кожній множині  $A$  і будь-якій функції  $f$  співставляє множину  $Ap^s(A, f) \subseteq Ran f$  ( $Ran(f)$  — множина значень функції  $f$ ), яка складається з усіх значень функції  $f$  на об'єктах з  $A$ , тобто  $Ap^s(A, f) = \{f(a) / a \in A\}$ .

Під множенням будемо розуміти біпольну операцію, що кожній парі функцій  $(f, g)$  ставить у відповідність нову функцію  $fg$  (чи  $f \cdot g$ ), яка задається формулою  $fg(a) = g(f(a))$ .

До класу іменних операцій відносяться біпольні функції іменування  $\Leftarrow$ , вибору  $sel$ , видалення  $ext$ , іменного заміщення  $\nabla$ , імплементації  $Imp$ , іменної суперпозиції  $Sup^n$ , догавання  $+$  та номінації  $\doteq$ .

Під іменуванням розуміється біпольна операція  $\Leftarrow$ , що кожній парі  $(v, a)$ , де  $a$  — об'єкт, а  $v$  — об'єкт типу імені, співставляє іменну множину  $\{(v, a)\}$ , тобто  $\Leftarrow(v, a) \stackrel{df}{=} v \Leftarrow a \stackrel{df}{=} \{(v, a)\}$ .

Під вибором будемо розуміти біпольну операцію  $sel$ , що задається формулою

$$sel(v, a) = \begin{cases} b, & \text{якщо } (v, b) \in a, \\ \text{не визначено, в іншому випадку} \end{cases}$$

Під видаленням розуміється біпольна операція  $ext$ , що кожній парі  $(U, a)$ , де  $U \subseteq V$  — множина імен, а  $a$  — іменна множина, ставить у відповідність іменну множину  $ext(U, a)$ , яка створюється шляхом видалення з  $a$  іменних об'єктів з іменами із  $U$ .

Під іменним заміщенням будемо розуміти біпольну операцію  $\nabla$ , що кожній парі іменних множин  $(a, b)$  співставляє нову іменну множину  $a\nabla b = \bar{a} \cup b$ , де  $\bar{a}$  — іменна множина, яка складається в точності з тих іменних об'єктів іменної множини  $a$ , імена яких не належать  $pr(b)$  (проекції по першій компоненті бінарного відношення  $b$ ).

Під імплементацією розуміється біпольна операція  $Imp$ , що кожній поліарній функції  $f$  і будь-якій іменній множині  $a$  ставить у відповідність  $U \setminus pr(a)$ -арну (можливо,  $\emptyset$ -арну) функцію  $Imp(a, f)$  ( $U$  — схема  $Dom(f)$ ,  $Dom(f)$  — область визначення функції  $f$ ) — звичайна теоретико-множинна різниця), яка зіставляє довільній  $U \setminus pr(a)$ -іменній множині  $\tilde{a} \subseteq \bar{a}$ , де  $\bar{a} \in Dom(f)$ , значення функції  $f$  на  $\tilde{a} \cup ext(U \setminus pr(a), \bar{a})$ .

Під суперпозицією будемо розуміти бінарну (біпольну) операцію  $Sup^n$ , що кожній парі  $(a, f)$  співставляє  $\bigcup_{i=1}^n U_i$ -арну функцію  $Sup^n(a, f)$ , яка задається наступною формулою:

$$Sup^n(a, f)(b) = f(\{(u_1, Imp(b, g_1)), \dots, (u_n, Imp(b, g_n))\}),$$

де  $b$  — будь-яка  $\bigcup_{i=1}^n U_i$  іменна множина.

Під догаванням розуміється біпольна операція  $+$ , що кожній парі  $(U_1, T_1)$ -,  $(U_2, T_2)$ -альних функцій  $f, g$  (тобто поліарних (конкретно  $U$ -арних) функцій, областями значень яких є поліарні (конкретно  $T$ -арні) множини) [4], ставить у відповідність  $(U_1 \cup U_2, T_1 \cup T_2)$ -

альну функцію  $f + g$ , що задається формулою  $f + g(a) = Imp(a, f) \nabla Imp(a, g)$ .

Під номінацією будемо розуміти біпольну операцію  $:=$ , що кожній парі  $(f, g)$ , де  $f$  — довільна  $U$ -арна номіназначна функція (тобто така, що її значення суть імена (номінати) з  $V \subseteq O$ ), а  $g$  — довільна  $T$ -арна функція, зіставляє нову  $T \cup U$ -арну функцію  $f := g$ , що задається формулою  $f := g(a) = \{(Imp(a, f), Imp(a, g))\}$ , де  $a$  — довільна  $T \cup U$ -іменна множина.

Нарешті, клас метаіменних операцій представлений біпольною функцією генералізації  $Gen$ . Дамо її визначення більш розгорнуто.

Нехай  $W$  — довільна множина, що індивідуалізує метаімена в множині імен  $V$ , тобто імена, денотатами яких у свою чергу є імена. Іменні множини, іменними об'єктами яких є біполі типу  $(w, v)$ , де  $w \in W$  — метаім'я, а  $v \in V$  — ім'я, називаються *метаіменними множинами*. Нехай  $a$  — довільна метаіменна множина вигляду  $\{(w_1, v_1), \dots, (w_n, v_n)\}$ , де  $w_i \in W, v_i \in V (i = \overline{1, n})$ ,  $f$  — довільна  $\{w_1, \dots, w_n\}$ -арна функція,  $pr_2(a)$  — проєкція множини  $a$  по другій компоненті.

Під генералізацією розуміється біпольна операція  $Gen$ , що кожній парі  $(a, f)$  ставить у відповідність нову  $pr_2(a)$ -арну функцію  $Gen(a, f)$ , яка задається формулою  $Gen(a, f)(b) = f(\{w_1, Sel(Sel(w_1, a), b), \dots, (w_n, Sel(Sel(w_n, a), b))\})$ , де  $b$  — будь-яка  $pr_2(a)$ -іменна множина.

Змістовно ця операція являє собою застосування активного об'єкта — функції  $f$  на пасивний об'єкт  $a$ , як "погоджене перенесення"  $f$  з однієї області визначення на іншу. При цьому метаіменна множина строго визначає це "погоджене перенесення".

Цим визначенням завершується експлікація процесологічного мікросередовища.

### Процесологічне середовище

В першому наближенні процесологічне середовище — це інтеграційне

середовище. В цьому сенсі воно є системою взаємодії двох полюсних середовищ: процесологічних макро- та мікросередовищ. Однак таке трактування занадто загальне і потребує подальшої конкретизації. Остання базується на *принципі координації*. Суть його полягає в індивідуалізації (виділенні) в універсумі  $O$  підмножин об'єктів (не обов'язково власних, зокрема, в якості підмножини може виступати весь універсум), елементами яких можуть бути власне об'єкти і акції, зокрема функції, операції та композиції як алгебраїчні операції. Такі підмножини є в цьому сенсі ініціальними множинами, тобто такими, що задаються ззовні (суб'єктом). Ініціальна множина  $I$  разом з множиною об'єктів, які породжуються з об'єктів самої ініціальної множини процесами покрокового виконання над ними акцій, створюють універсум ініціалізованих об'єктів  $O_I$ . При цьому не виключається можливість того, що  $O = O_I$ . Роль ініціальних множин в даних розглядах зводиться фактично до ролі *координатора* покрокових виконань. Адаже якраз специфікація множини ініціальних об'єктів має визначальний (координуючий) вплив на те, власне який універсум ініціалізованих об'єктів  $O_I$  залучається до розглядів. В цьому сенсі процес дійсно експлікується як *скоординоване виконання акцій*. Зокрема, роль координатора може бути зведена до мінімуму, якщо множина ініціальних акцій співпадає з  $O_I$  і навіть з  $O$ . Така ситуація відповідає випадку, коли універсум об'єктів заданий ззовні в повному обсязі, а значить, на внутрішньому рівні координація його створення не потрібна. Однак на практиці останній випадок не є репрезентативним. Скоріше він, крім тривіальних і тому малозмістовних випадків, неможливий. Звичайним же є те, що як раз множини ініціальних об'єктів як координатори специфікують прагматику предметних областей. І вже на основі такої *координації* породжуються як власне об'єкти універсуму  $O_I$ , так і нові засо-

би породження останніх. Причому важливо зазначити, що для будь-якої реальної (прагматично обумовленої) предметної області множина ініціальних об'єктів, як основа процесологічного середовища конкретної предметної області, може бути фінітною. Структура процесологічного середовища предметної області індукована необхідністю мати в складі множини ініціальних об'єктів як загальнозначущі (логічні) засоби ініціалізації, так і специфічні (предметні), обумовлені прагматикою предметної області. Повна система логічних ініціальних засобів визначена вище в процесі експлікації процесологічних макро- та мікро середовищ і складається з операцій  $Ap^p$ ,  $Ex^{[s_1, s_2, \dots, s_m]}$ ,  $Con$ ,  $Ab$ ,  $Con^c$ ,  $Ab^c$ ,  $Con^f$ ,  $Ab^f$ ,  $Par$ ,  $Sup$ ,  $Tr$ ,  $\bar{V}$ ,  $Ap$ ,  $Ap^s$ ,  $\cdot$ ,  $\Leftarrow$ ,  $sel$ ,  $ext$ ,  $\nabla$ ,  $Imp$ ,  $Sup^n$ ,  $+$ ,  $:=$ ,  $Gen$ . Що ж стосується предметної складової, то процесологічне середовище відносно неї є відкритою системою. Таким чином, будь-яка предметна область може бути змодельована через поповнення наведеної системи логічних ініціальних об'єктів відповідною множиною предметних ініціальних об'єктів.

### **Висновок**

З вищенаведеного випливає, що процесологічне середовище моделю-

вання предметних областей може бути адекватно представлене у вигляді *відкрито-замкнутої системи*, котра поєднує в собі множину загальнозначущих (логічних) засобів моделювання, відносно яких вона (система) замкнута, та відкрити сукупність множин специфічних засобів моделювання конкретних предметних областей.

1. Редько В.Н. Дескриптологические основания программирования // Кибернетика и системный анализ. — 2002. — № 1. — С. 31–49.
2. Френзель А., Бар-Хиллел И. Основания теории множеств. — М.: Мир. — 1966. — 555 с.
3. Редько И.В. Дескриптологическая среда моделирования предметных областей // Труды Междунар. науч.-практ. конф. по программированию УкрПРОГ'2002. — Киев: Ин-т программных систем НАНУ, 2002. — С. 61–68.
4. Редько В.Н. Основания композиционного программирования // Программирование. — 1979. — №3. — С. 3–13.
5. Фреге Г. Логика и логическая семантика. — М.: Аспект пресс, 2000. — 512 с.
6. Барендрегт Х. Лямбда-исчисление. — М.: Мир, 1985. — 606 с.

*Отримано 15.01.03*

*Про автора*

*Редько Ігор Володимирович,*

кандидат фізико-математичних наук,  
доцент.

*Місце роботи автора:*

Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут", м. Київ

Тел.: (044) 441 1060

e-mail: iredko@yahoo.com