УДК 621.3 :519.713

І.В. Редько

ЕКСПЛІКАТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ ІНТЕГРАЦІЇ

Досліджуються проблеми ефективної редукції параметричних логіко-математичних специфікацій класів задач у експлікативні моделі з оракулами. Стосовно основних класів таких специфікацій розробляються параметричні методи редукцій. Останні ілюструються на репрезентативних класах прикладів.

Протягом століть моделювання залишається найважливішою складовою життєдіяльності людини. Адже в основі будь-якого процесу - чи простого сприйняття навколишнього простору, чи якоїсь предметної діяльності - лежить побудова більш-менш адекватної моделі того, що відбувається. Перефразовуючи відоме висловлення, можна сказати, що "для людини моделювати так само природно, як дихати".

Як і у кожній іншій галузі діяльності, процес моделювання до пори до часу розвивався переважно на інтуїтивній основі з відповідним розв'язанням задач "вроздріб". Однак такий стан речей не міг не ввійти в суперечність з рівнем завдань, що висунуло життя. Саме останньому класична математика зобов'язана своїм розвитком і становленням.

У свою чергу, становлення математики дозволило певною мірою пом'якшити ці суперечності. Проявилося це в розвитку математичного моделювання, в основі якого лежали **методи дедуктивного аналізу** моделей. І хоча цей напрям класичної математики істотно вплинув на розвиток науки про моделі і моделювання, проте обмеженість тільки дедуктивними засобами стала "прокрустовим ложем" моделювання предметних областей.

Якісно новий розвиток моделювання одержало з появою комп'ютерів і потужним розвитком комп'ютерних технологій. У результаті була створена реальна основа **для інтеграції дедуктивних засобів моделювання з індуктивними.** А саме таке єднання і є **необхідною складовою процесу пізнання.** У моделюванні це проявилося в можливості заміни процесів, об'єктів і явищ їхніми **інформаційними моделями.** У зв'язку з цим даний напрям одержав назву **інформаційного моделювання.**

Але безпрецедентні потенційні можливості зовсім не означають їхньої автоматичної реалізації. Вражаючі досягнення інформаційного моделювання, в якому і тепер повсюдно домінує інтуїтивна основа, спочатку дозволяли не ставити всерйоз проблему зміни пріоритетів із продукування моделей на логіку їхньої побудови. Однак перехід від поверхневих задач до проблем принципового характеру розкрив кардинальне **протиріччя між потенційними можливостями інформаційного моделювання і можливостями реалізації** їх у рамках інтуїтивних уявлень про самий процес моделювання.

Таким чином, незважаючи на основоположне значення інтуїтивної основи в будь-якій області діяльності, сучасне моделювання вже давно вийшло на той рубіж, коли інтуїтивні припущення в ньому необхідно було доповнити по можливості точними дослідженнями і розробками. З цією метою, звичайно, насамперед було необхідно уточнити його головну категорію - саме поняття моделювання як процес, спрямований на побудову моделей. При цьому основою такого уточнення повинна стати не тільки точність у строго математичному смислі, але і, що особливо важливо, адекватність самого уточнення меті цього уточнення. Іншими словами, таке уточнення повинно бути експлікацією в розумінні Р.Карнапа [1], тобто являти собою математично строгу експлікату, що утворюється шляхом адекватного розгортання вихідного інтуїтивного поняття як експліканда.

Така зміна пріоритетів у вивченні моделей і моделювання означає перехід від інтуїтивного інформаційного моделювання до **експлікативного інформаційного моделювання** (далі, якщо не оговорене інше, просто **експлікативного моделювання**).

До останнього часу такий перехід був практично неможливий. Однак принципові результати досліджень, отримані в галузі моделювання [5,6], дали підстави для трактування моделювання насамперед як логіки процесу побудови моделей. Це, у свою чергу, дозволило зрозуміти, що не будь-яке моделебудування варто розглядати як моделювання. До останнього слід віднести тільки таке моделебудування, що базується на загальнозначущих закономірностях, тобто підтримує логіку процесу й інваріантно щодо специфіки предметної області.

Зупинимося докладніше на побудові експлікативних моделей розв'язання класів задач у середовищі інтеграції. Для цього розглянемо деякі основні поняття.

Розв'язання будь-якої задачі, як відомо, суть інтеграція розв'язків її підзадач [3]. Якщо задача проста, то інтеграція тривіальна і, як правило, явно не виділяється. У випадку ж, коли задача складна, інтеграційний аспект її розв'язання домінує, тому що власне ним і визначається складність. У такий спосіб побудова адекватної моделі розв'язання передбачає використання двох типів абстракцій при розгляді специфікацій: як специфікацій підзадач, так і засобів їхньої інтеграції.

Що стосується специфікацій першого типу, то основу їх складають явно або неявно виділені логіко-математичні структури задач, в основі яких лежать функціональні і декомпозиційні структури.

З точки зору функціональних структур специфікацій, будь-який клас задач суть функція, що ставить результати у відповідність вихідним даним. Причому можна показати, що в силу об'єктивних причин не можна обмежитися **класичними функціями**, а доводиться за необхідності залучати **неокласичні** і навіть **некласичні** функції.

Неокласичні і тим більше некласичні функції, на відміну від класичних, задані на множинах не просто абстрактних елементів, а таких, що мають визначену структуру. Точніше кажучи, це функції типу **f:A→B**, де **A** і (або) **B** s множини **іменних множин**, що у зв'язку з цим сталі називати **іменними функціями** [4].

Ближче до класичних знаходяться неокласичні функції. Останні являють собою клас **X**-арних, **Y**-арнозначних і **(X, Y)**-арних функцій, запропонованих раніше [4].

Найбільш важливе місце в специфікаціях задач займають некласичні функції. Вони є серйозними узагальненнями неокласичних функцій.

Цілісна система класичних, неокласичних і некласичних функціональних структур утворює фундамент логіко-математичних специфікацій. Для того ж, щоб на ньому зводити сам "будинок" специфікації задач, необхідно звернутися до логік їх вирішення. В основі цих логік лежать декомпозиційні структури, що базуються на поняттях редукції і **h-редукції** [7,8].

Апарат редукцій найбільш простий у цьому арсеналі. Тому почнемо з нього. Введемо насамперед поняття редукції.

Функцію **g** називають **редукцією** функції **f** тоді і тільки тоді, коли

$\mathbf{g}^{\circ}\ \mathbf{f}=\mathbf{f}$,

де $^{\circ}$ – операція мультиплікування, що надає упорядкованій парі функцій **(g,f)** нову функцію $\mathbf{g}^{\circ}\mathbf{f}$, яка являє собою послідовне виконання вихідних функцій, що узагальнює собою **звичайне** множення функцій.

Парадигмна значимість поняття редукції полягає в тому, що воно дозволяє адекватно розкривати логіки задач, на основі яких різні реалізації їх у вигляді тих або інших процедур розв'язання задач, різноманітних алгоритмів, моделей, програм, тощо утворюються вже автоматично з коректністю, що звідси випливає.

Поняття редукції має загальнозначущий характер. У цьому розумінні воно являє собою концептуально єдиний засіб розкриття логіки найрізноманітніших задач і у деякій мірі має універсальну природу. Однак далеко не завжди цей засіб доцільно використовувати, тому що це може супроводжуватися тими або іншими неадекватностями, що виявляються вже на найпростіших рівнях [7].

Вирішення даної проблеми зводиться до прямого узагальнення поняття редукції до поняття h-редукції.

Під **h-редукцією** функції **f** будемо розуміти таку функцію **g**, що

$\mathbf{g}^{\circ}\ \mathbf{f}=\mathbf{f}^{\circ}\ \mathbf{h}$,

де **h** – довільна, але фіксована функція.

Безпосередньо з визначення випливає, що коли **h** – тотожна функція, то **h**-редукція функції **f** збігається з редукцією цієї функції. Адже в цьому випадку співвідношення $\mathbf{g}^\circ\mathbf{f}=\mathbf{f}^\circ\mathbf{h}$ зводиться до $\mathbf{g}^\circ\mathbf{f}=\mathbf{f}$.

Проілюструємо це на конкретних прикладах. Для цього звернемося до найпростішого класу задач чисельного аналізу, що складається з однієї єдиної задачі – обчислення $\sqrt{x}$ з заданою точністю ε, де x і ε – позитивне дійсне число.

Розглянемо послідовність $y_0, y_1, y_2, \ldots$, у котрої $y_0=a$, $y_{i+1}=\sqrt{x}(\,y_i+\frac{x}{y_i})$ $(i=0, 1, 2, \ldots)$, де a – деяке позитивне дійсне число. Відомо, що ця послідовність незалежно від а збігається до $\sqrt{x}$. Звідси випливає, що моделювання обчислення $\sqrt{x}$ з заданою точністю може бути зведене до деталізації іменної функції f, що перетворює іменну множину $\{(u, x), (v, \varepsilon), (w, 0)\}$ в іменну множину $\{(w, y_n)\}$, де y_n – перший член зазначеної послідовності, для якого виконана умова $|y_n^2 - y_{n-1}^2|<\varepsilon$.

Для того, щоб здійснити цю деталізацію, знайдемо редукцію функції f. Для цього розглянемо іменну функцію $w_{np}:=w;\ w:=\sqrt{x}\,(w_{np}+\frac{u}{w_{np}})$, індуковану рекурентним співвідношенням, що дозволяє будувати наступні елементи послідовності за попередніми. При цьому позначення w_{np} відбиває той факт, що ім'я (комірки) w_{np} іменує попередній елемент стосовно елемента з ім'ям w.

Легко переконатися, що іменна функція, що базується на рекурентному співвідношенні, є шуканою редукцією. Дійсно, вона перетворить іменну множину $\{(u, x), (v, \varepsilon), (w, a)\}$ на іменну множину $\{(u, x), (v, \varepsilon), (w, \sqrt{x}(a+\frac{x}{a}))\}=\{(u, x), (v, \varepsilon), (w, y_1)\}$. Але остання іменна множина під дією f переходить, якщо, звичайно, $|y_1^2 - y_0^2|\geq\varepsilon$, у ту ж саму іменну множину $\{(w, y_n)\}$. Отже, f є інваріантом функції $w_{np}:=w;\ w:=\sqrt{x}(w_{np}+\frac{u}{w_{np}})$.

Відшукавши відповідну редукцію, ми можемо зробити висновок, що

$$f = \textbf{repeat } w_{np}:=w;\ w:=\sqrt{x}(w_{np}+\frac{u}{w_{np}})\ \textbf{until } |w^2 - w_{np}^2|<v.$$

При цьому слушність виводу безпосередньо випливає з побудови.

Реальні задачі характеризуються високим рівнем складності. Тому створення моделей їх розв'язань, тим більше автоматизованих, висуває на перший план проблему розробки **середовища інтеграції** [8], що являє собою сукупність адекватних засобів інтеграції, орієнтованих на той або інший клас задач.

Виходячи з того, що експлікативне моделювання є, відповідно до зазначеного вище, адекватним уточненням поняття моделювання [2], воно об'єктивно може розглядатися як **ядро середовища інтеграції**. Головною відмінною рисою останньої є її інваріантність в універсумі задач. Все це дозволяє строго математично і, що особливо важливо, адекватно виділити модельні специфікації (експлікативні моделі і (або) процеси їхньої побудови) як інваріант у класі всіх **специфікацій** задач.

Модельні специфікації як інваріантні (загальнозначущі) засоби задають логіку розв'язання задач. Тому їх називають **логічними специфікаціями**. Що ж стосується специфікацій задач, відмінних від логічних, то вони відбивають більш конкретні, спеціальні властивості задач. У цьому розумінні вони є відбитком предметної сутності задач. Тому вони одержали назву **предметних специфікацій.**

На відміну від логічних специфікацій предметні складають **варіативний компонент** у класі всіх специфікацій. Останній залежно від вибору того або іншого класу задач може змінюватися в найширших межах.

Нічим не обмежена можливість таких змін призводить до необхідності виділення в класі варіативних компонент інваріантів, що мають вже не абсолютний, а відносний характер. Через це їх почали називати **релятивними інваріантами**.

У реальних системах моделювання сім'я релятивних інваріантів складно влаштована. Тому в сім'ї релятивних інваріантів у свою чергу послідовно виділяється сім'я релятивних інваріантів і т.д. Таким чином, з'являються **релятивні інваріанти вищих типів**.

Апріорі структура релятивних інваріантів вищих типів у середовищі специфікацій може бути як завгодно складною. Але на практиці ступінь ієрархії тут не перевищує п'яти-шести, що відповідає реальним інтеграційним можливостям **прагматико-орієнтованих моделей**.

З огляду на цю об'єктивну обставину, домовимося надалі **середовище специфікацій** як сім'ю всіх можливих специфікацій (универсум специфікацій) розглядати під кутом зору середовища інтеграції, що адекватно підтримує лише інтеграційні можливості прагматико-орієнтованих моделей.

Середовище інтеграції суть **біпольне середовище**, що являє собою систему взаємодії двох

полюсних середовищ, підтримуваних **інтерфейсним середовищем**. Одне полюсне середовище являє собою **макроінтеграційне середовище**, а інше – **мікроінтеграційне**.

У реальних системах інтеграції макроінтеграційне середовище підтримується макроінтегратором, мікроінтеграційне середовище – мікроінтегратором, а інтерфейсне середовище – **інтерфейсною системою.**

Поряд із наведеною вище параметризацією за параметром інтегративності, що підрозділяє специфікації на інтегративні і позаінтегративні, у прагматико-орієнтованих системах явно виділяються параметризації і за іншими параметрами. Так, наприклад, явно вводиться параметризація за ступенем формальності, що, зокрема, підрозділяє всі специфікації на **формальні** і **неформальні.**

Серед формальних специфікацій особливе місце займають **логіко-математичні специфікації**, що задовольняють двоєдиній вимозі: можливості, з одного боку, визначати їх у рамках точних логіко-математичних засобів і, з іншого, ефективного (конструктивного) зведення (редукції) таких специфікацій до процесів побудови моделей в експлікативному моделюванні.

Логіко-математичні специфікації прагматико-орієнтованих моделей можуть бути як завгодно складними. Тому вони параметризуються за параметром типовості задач, що ці логіко-математичні специфікації підтримують. У зв'язку з цим виділяють логіко-математичні специфікації, що підтримують **задачі вищих типів**, тобто задача типу класів задач, задача типу задач типу класів задач і т.д.

Очевидно, що розглядаючи експлікативне моделювання в середовищі логіко-математичних специфікацій задач вищого типу, неможливо, не входячи в протиріччя з адекватністю рішень задач, обмежитися рамками середовища мікроінтеграції. При необхідності варто втягнути в розгляд середовище макроінтеграції і, що особливо важливо, повною мірою біпольне середовище, підтримуване **інтегратором,** яке являє собою систему інтерфейсної взаємодії макро- і мікроінтеграторів.

Таке залучення зсуває акценти із середовища логіко-математичних специфікацій задач вищого типу в сферу інтеграції систем розв'язання таких задач. Проілюструємо це на найпростіших задачах чисельного аналізу. Причому дане ілюстрування для наочності і з метою ще раз підтвердити адекватність даного підходу до процесу моделювання зробимо поетапним, за принципом "від простого до складного".

1. Репрезентативним зразком експлікативного моделювання в середовищі мікроінтеграції може служити наведений вище приклад розв'язання задачі обчислення $\sqrt{x}$. Тому не будемо ще раз докладно зупинятися на розгляді задач такого роду, а перейдемо до задач експлікативного моделювання в середовищі інтеграції.

2. Експлікативне моделювання в рудиментарному середовищі інтеграції. Розглянемо клас спеціальних рівнянь типу $x=\varphi(x)$, де функція $\varphi(x)$ задовольняє наступним двом умовам:

- вона визначена і неперервно диференційована на всій числовій прямій;
- існує таке дійсне число $p<1$, що для всіх x модуль похідної $|\varphi'(x)|\leq p$.

Відомо, що стосовно такого класу рівнянь метод послідовних наближень або, як кажуть, метод простих ітерацій збігається. Іншими словами, кожне рівняння з цього класу має єдиний дійсний розв'язок. Причому його можна знайти методом послідовних наближень, тобто, почавши з довільного дійсного числа x_0 (початкового наближення), побудувати послідовність x_0, x_1, x_2, ..., де $x_i=\varphi(x_{i-1})$ (i=1, 2, ...), що збігається до розв'язку рівняння $x=\varphi(x)$.

Таким чином, доречно порушити питання про експлікативне моделювання пошуку наближених розв'язків зазначених рівнянь методом послідовних наближень. В основі такого моделювання лежить зведення пошуку розв'язку до обчислення його наближення (наближеного розв'язку), тобто такого елемента згаданої послідовності наближень, що задовольняє двом умовам:

1) для будь-якого $i<n$ $|x_i - x_{i-1}|\geq \varepsilon$, де ε – наперед задане позитивне дійсне число, яке називається точністю обчислення;

2) $|x_n - x_{n-1}|<\varepsilon$.

З умов (1) – (2) випливає, що моделювання пошуку наближеного розв'язку рівняння $x=\varphi(x)$ може бути зведене до деталізації функції f, що перетворює іменну множину $\{(v, x_0), (v, \varepsilon)\}$ на іменну множину $\{(v, x_n)\}$, де x_n – перший член послідовності наближень, для якого виконується умова (2).

Для того, щоб здійснити таку деталізацію за аналогією з пунктом **1**, знаходимо відповідну редукцію функції f. У якості такої редукції тут, мабуть, може бути обрана іменна функція $v_{np}:=v$; $v:=\varphi(v_{np})$. Тут v_{np} – ім'я комірки, у якій міститься ся попередній елемент відносно елемента, привласненого комірці з ім'ям v, а $v:=\varphi(v_{np})$ – операція присвоювання комірці з ім'ям v наступного значення функції φ на попередньому значенні (вмісті комірки з ім'ям v_{np}). Адже воно адекватно відбиває основну властивість обчислення наближення.

Відшукавши потрібну редукцію, ми, як і раніше, можемо автоматично побудувати свідомо коректну схему моделі розв'язків:

$$f = \mathbf{repeat}\ v_{np}:= v\ ;\ v:=\varphi(v_{np})\ \mathbf{until}\ |v - v_{np}| < u.$$

Результатом побудови, як бачимо, є не конкретна **експлікативная модель**, а, як кажуть, **експлікативна модель з оракулом** $\varphi(v)$ (далі, виходячи з того, що предметом розгляду є тільки **експлікативні моделі**, слово експлікативні вилучаємо) або **схема моделі**, тобто не "абсолютна", а "відносна" модель (модель щодо функції $\varphi(v)$). Вона перетворюється на конкретну (абсолютну) модель після заміни $\varphi(v)$ конкретною функцією з розглянутого класу функцій, таких, наприклад, як $\frac{\sin v}{2}$, $\frac{\cos v}{2}$, $\frac{\sin v + \cos v}{3}$ і т.д. Таким чином, побудувавши модель з оракулом, ми фактично побудували нескінчений клас конкретних моделей, що підтримують розв'язання будь-якого рівняння згаданого класу.

Як бачимо, на відміну від випадку експлікативного моделювання в середовищі мікроінтеграції, розв'язання розглянутого класу рівнянь ми за необхідності експлікативно моделювали в спеціальному біпольному середовищі інтеграції. Спеціальність його в тому, що воно, хоча і включає поряд із середовищем мікроінтеграції середовище макроінтеграції, індуковане оракульністю відповідної експлікативної програми, однак система інтерфейсної взаємодії цих середовищ має зародковий (рудиментарний, від лат. rudimentum – зародок) характер, що підтримує тривіальну макроінтеграцію оракула в середовище мікроінтеграції. Тому це спеціальне біпольне середовище називають **рудиментарним**.

3. Експлікативне моделювання в біпольному середовищі інтеграції. Проілюструємо його стосовно задач обчислення операцій підсумовування і мультиплікування.

3.1. Експлікативне моделювання обчислення операцій підсумовування. Під функцією, заданою операцією підсумовування, розуміють функцію, обумовлену рівністю

$$f(x_1, \dots , x_{n-1}, m) = \sum_{i=1}^{m} g(x_1, \dots, x_{n-1}, i),$$

де $g(x_1, \dots, x_{n-1}, i)$ – довільна, але фіксована функція, що залежить від дійсних змінних $x_1, \dots, x_{n-1}$ і змінної i, що набуває натуральних значень.

У якості функціональної структури моделі обчислення функції $f(x_1, \dots, x_n)$, що залежить від дійсних змінних $x_1, \dots, x_{n-1}$ і змінної x_n, що набуває натуральних значень, доцільно вибрати іменну функцію f (не плутати з $f(x_1, \dots, x_n)$), що перетворює іменні множини $\{(v_1, a_1), \dots, (v_{n-1}, a_{n-1}), (v_n, m)\}$ на іменні множини $\{(w, f(a_1, \dots, a_{n-1}, m))\}$, де $a_1, \dots, a_{n-1}$ – дійсне число, а m – натуральне число. Що ж до її експлікативної структури, то її визначення зводиться до побудови відповідної h-редукції функції f.

Для того, щоб побудувати таку h-редукцію, звернемося до основної властивості функції $f(x_1, \dots , x_n)$. Вона задається наступним рекурентним співвідношенням:

$f(x_1, \dots , x_{n-1}, 1)=g(x_1, \dots , x_{n-1}, 1)$,

$f(x_1, \dots , x_{n-1}, m+1)=f(x_1, \dots , x_{n-1}, m)+g(x_1, \dots , x_{n-1}, m+1)$.

З цього рекурентного співвідношення безпосередньо випливає, що оператор присвоювання $v_n:=v_n+1$ є $v_n:=v_n+1$; $w:=w+g$-редукцією функції f, де g – іменна функція, яка з кожною іменною множиною $\{(v_1, a_1), \dots, (v_{n-1}, a_{n-1}), (u, m)\}$ зіставляє число $g(a_1, \dots , a_{n-1}, m)$. Тому, керуючись попередніми міркуваннями, ми можемо зробити висновок, що має місце рівність:

$f = u:=0\ ;\ w:=0\ ;\ \mathbf{repeat}\ u:=u+1\ ;\ w:=w+g\ \mathbf{until}\ u=v_n$.

Характерною рисою експлікативної структури, що задається цією рівністю, є її відносність, яка проявляється у входженні функції g. Тому, як і в пункті **2**, вона являє собою структуру не конкретної моделі, а моделі з оракулом (схеми моделі). Конкретні моделі утворюються з цієї схеми шляхом заміни функції g конкретною функцією.

Візьмемо, наприклад, у якості g функцію $1/i$. Тоді, здійснюючи зазначену заміну, одержимо модель часто розглядуваної функції $\sum_{i=1}^{m} 1/i$:

$u:=0\ ;\ w:=0\ ;\mathbf{repeat}\ w:=w+1\ ;\ w:=w+1/w\ \mathbf{until}\ w= v$.

Цілком аналогічним способом експлікативно моделюється обчислення функції, що обумовлена рівністю:

$$f(x_1, \dots, x_{n-1}, k, m) = \sum_{i=k}^{m} g(x_1, \dots, x_{n-1}, i)\ (k \geq m).$$

Конкретно воно задається наступною експлікативною моделлю:

$u:=k\text{-}1$;
$w:=0$;
repeat $u:=u+1$;
$w:=w+g$
until $u=v_{n+1}$.

Використовуючи цю модель, не важко побудувати модель для обчислення функції, заданої рівністю:

$$m(x_1, \dots, x_n)$$
$$f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{k(x_1, \dots, x_n)} g(x_1, \dots, x_{n-1}, i),$$

де $k(x_1, \dots, x_n)$ і $m(x_1, \dots, x_n)$ – такі функції дійсного аргументу і натурального значення, що $k(x_1, \dots, x_n) \leq (x_1, \dots, x_n)$ для всіх $x_1, \dots, x_n$. У якості такої моделі може слугувати:

$v_{n+1}:=\mathbf{m}\{v_1, \dots, v_n\}$;
$u=\mathbf{k}\{v_1, \dots, v_n\} - 1$;
$w:=0$;
repeat $u:=w+1$;
$w:=w+g$
until $u=v_{n+1}$,

де $k\{v_1, \dots, v_n\}$ і $m\{v_1, \dots, v_n\}$ – іменні функції, що відповідають функціям $k(x_1, \dots, x_n)$ і $\mathbf{m}(x_1, \dots, x_n)$.

3.2. Експлікативне моделювання обчислення операцій мультиплікування. Під функцією, заданою операцією мультиплікування, розуміють функцію, обумовлену рівністю

$$f(x_1, \dots, x_{n-1}, \mathbf{m}) = \prod_{i=1}^{m} g(x_1, \dots, x_{n-1}, i),$$

де $g(x_1, \dots, x_{n-1}, i)$ має попередній зміст.

Як і в попередньому прикладі, виберемо в якості функціональної структури моделі обчислення функції $f(x_1, \dots, x_n)$ іменну функцію f, що перетворює іменні множини $\{(v_1, a_1), \dots, (v_{n-1}, a_{n-1}), (v_n, \mathbf{m})\}$ на іменні множини $\{(w, f(a_1, \dots, a_{n-1}, \mathbf{m})\}$. Для того, щоб задати їй експлікативну структуру, побудуємо відповідну ħ-редукцію функції f. З цією метою звернемося до основної властивості функції $f(x_1, \dots, x_n)$. Вона визначається таким рекурентним співвідношенням:

$$f(x_1, \dots, x_{n-1}, 1) = g(x_1, \dots, x_{n-1}, 1),$$
$$f(x_1, \dots, x_{n-1}, m+1) = f(x_1, \dots, x_{n-1}, \mathbf{m}) \cdot g(x_1, \dots, x_{n-1}, m+1).$$

З цього рекурентного співвідношення випливає, що оператор присвоювання vn:=vn+1 являє собою $v_n:=v_n+1$; $w:=w\cdot g$-редукцію функції f, де g – іменна функція, що має той же зміст, що й у пункті **3.1**. Знайшовши $v_n:=v_{n+1}$; $w:=w\cdot g$-редукцію, ми, по суті, звели обчислення операцій мультиплікування до схем експлікативних моделей, подібних розглянутим у попередньому пункті.

На відміну від задач попереднього пункту, задачі, розв'язувані в пунктах **3.1** і **3.2** як задачі вищого типу, характеризуються нетривіальним взаємозв'язком багатьох оракулів. Тому адекватний розв'язок їх недоцільно обмежувати рамками рудиментарного середовища інтеграції, бо воно об'єктивно вимагає більш високого рівня інтеграції, індукованого нетривіальною взаємодією оракулів як між собою, так і з макро- і мікросередовищем інтеграції.

Таким чином, уже з розгляду досить простих, але репрезентативних прикладів стає очевидним, що основні принципові складності при розв'язанні задач пов'язані в першу чергу з інтеграційними проблемами експлікативного моделювання, розв'язок яких повинен грунтуватися на **моделелогії** як науці моделебудування, предметом якої є не стільки процеси моделебудування, скільки їх логіки.

(. *Карнап Р.* Значение и необходимость, - М, 1958. - 273 с.

2. *Пойя Дж.* Как решать задачу. - М.: Учпедгиз, 1959. - 208 с.

3. *Пуанкаре А.* О науке. - М., 1983. (разд. Наука и метод).

4. *Редько В.Н.* Основания композиционного программирования /'/ Программирование. - 1979. - № 3. - С.3 13.

5. *Редько В.Н.* Экспликативное программирование: ретроспективы и перспективы // Труды Первой международной научно-практической конференции по программированию УкрПРОГ'98 (пленарный доклад). - Киев. - 1998. - С. 22-41.

6. *Редько В.Н.* Программология: прошлое, настоящее,будущее / / Вестник Международного Соломонова университета. - 1999. -№ 1.-С. 23-59.

7. *Редько В.Н., ГришкоН.В.. Редько И.В.* Экспликативное программирование в среде логико-математических спецификаций // Труды Первой международной научно-практической конференции по программированию УкрПРОГ'98 (доклад). - К.. 1998.-С. 71-76.

8. Там само. - С. 191-196.

IV. Redko

EXPLICATIVE MODELING IN INTEGRATION ENVIRONMENT

The problems of effective reduction of parametric logical-mathematical specifications of classes of tasks in explicative models with oracle are studied. Parametric methods of this reductions for fundamental classes of this specifications are being built. Representative classes of examples of this eductions are adduced.