

УДК 519.682.1

Буй Д.Б.¹, д.ф.-м.н., проф.,
Кахута Н.Д.², к.ф.-м.н., доц.,
Шишацька О.В.³

Композиційна семантика SQL-подібних мов та суміжні питання

Представлено основні результати роботи наукової групи НДС «Проблем програмування» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ключовим напрямком роботи якої є дослідження алгебр композиційного типу. Наведено теоретико-практичні досягнення в дослідженні теорії програмних алгебр композиційного типу, проілюстровано можливість застосування цієї теорії до нагальних потреб.

Ключові слова: композиційна семантика, програмна алгебра, бази даних, таблична алгебра.

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 03680, м. Київ, пр-т. Глушкова 4д, e-mail: buy@unicyb.kiev.ua

² Університет економіки і права «Крок», 03313, м. Київ, вул. Лагерна, 30-32, e-mail: kahuta@krok.edu.ua

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 03680, м. Київ, пр-т. Глушкова 4д, e-mail: oshyshatska@gmail.com

Статтю представив д.ф.-м.н., проф. Анісімов А.В.

Аналіз причин сучасного критичного стану в застосуванні формальних моделей до створення складних промислових програмних систем дозволяє сформулювати наступні вимоги, яким повинні відповідати сучасні моделі програм: експлікативність; композиційність; інтенціональність; явне використання структур іменування; чітка витримка рівнів абстракції моделей.

Серед потенційно можливих моделей, які задовольняють наведеним вимогам, для дослідження обрані програмні алгебри композиційного типу, які базуються на композиційному програмуванні, закладеному в працях академіка В. Н. Редька у 70-х роках минулого століття.

Реальні теоретико-практичні досягнення теорії програмних алгебр композиційного типу і

D.B. Buy¹, PhD, professor,
N.D. Kahuta², PhD,
O.V. Shyshatska³

Compositional semantics of the family of the SQL languages and related questions

The main results of the research group research sector "Programming problems" of Taras Shevchenko National University of Kyiv presents. A key area of work is to study algebra composite type. Theoretical and practical advances in achievements of the theory of program algebras composite type presented. The applicability of this theory to immediate needs illustrated.

Key Words: compositional semantics, software algebra, database, table algebra.

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv, 03680, Kyiv, Glushkova st., 4d e-mail: buy@unicyb.kiev.ua

² University of Economics and Law "Krok", 03313, Kyiv, Lagerna st., 30-32, e-mail: kahuta@krok.edu.ua

³ Taras Shevchenko National University of Kyiv, 03680, Kyiv, Glushkova st., 4d, e-mail: oshyshatska@gmail.com

можливість застосування цієї теорії до нагальних потреб практичного програмування визначають актуальність дослідження.

В роботі наведено основні результати роботи наукової групи під керівництвом Д.Буя.

Структура роботи є наступною: наведено напрямок дослідження, перелік науковців, що займаються даними питаннями, основні публікації та основні результати.

Композиційна семантика SQL-подібних мов (Ю.Брона, Д.Буй, С.Поляков, В.Редько) [1-5]

Побудовано програмну алгебру, орієнтовану на визначення семантики операторів маніпулювання даними SQL-подібних мов.

Носій цієї алгебри складається з часткових багатомісних функцій вигляду

$$f^{(n)} : X_1 \times \dots \times X_n \rightarrow X, \text{ де } n \geq 1, \\ X, X_1, \dots, X_n \in \{D, 2^D, S, T, T_g, Bool\}.$$

Сигнатура містить композиції фільтрації, взяття повного образу, агрегування, рекурсії та стандартну підстановку.

Множину базових функцій та предикатів формують елементи: теоретико-множинні функції об'єднання, перетину та різниці таблиць; функція вилучення дублікатів; функція побудови упорядкованих таблиць; предикати та функції для побудови агрегатних функцій композицією агрегування; функція групування; функції внутрішнього і зовнішнього з'єднання; операції кон'юнкції, диз'юнкції та заперечення тризначної сильної логіки Кліні; операція об'єднання сумісних рядків, функції іменування та розіменування рядків; операції та предикати універсального домену.

Основним результатом дослідження є

Теза: *Замикання множини базових функцій та предикатів композиціями фільтрації, взяття повного образу, агрегування, підстановки та рекурсії містить функції, які є семантиками всіх операторів маніпулювання даними SQL-подібних мов, включаючи CTE вирази в їх рекурсивній формі.*

Теорія табличних алгебр (Ю.Брона, Д.Буй, С.Загорський, В.Редько) [6-11]

Побудована спеціальна програмна алгебра, носієм якої виступають функції на табличних даних, а в якості сигнатурних операцій використовуються композиції (оператори), які дозволяють будувати складні запити з атомарних функцій. Проведений огляд та класифікація основних типів моделей даних, до яких відносяться табличні, ієрархічні, мережні моделі, а також моделі, які базуються на багаторівневих таблицях та рекурсивних таблицях.

Вдосконалена та розширена композиційна SQL-орієнтована алгебра табличних функцій. Нове визначення таблиць за рахунок внесення схеми відповідає розумінню таблиць в реляційних базах даних. Це надало можливість більш точного та адекватного задання семантики операторів запитів мови SQL. Функції та композиції задані як на множинах так і на мультимножинах.

Задана семантика рекурсивних запитів в SQL. Визначена як операційна, так і денотаційна семантика рекурсивних запитів, а також доведена їх еквівалентність при виконанні природних достатніх умов, таких, як дистрибутивність

операції за першим аргументом та збереження порожньої таблиці за першим аргументом.

Досліджена композиційна структура операторів запитів та проведена класифікація операторів за їх синтаксичною структурою. Виділено три класи запитів, кожний з яких будується за чітко визначеною схемою.

Нове визначення композиції агрегації дозволяє більш точно задати семантику агрегатних функцій при роботі з невизначеними значеннями.

Проведено дослідження реляційної, ієрархічної, квазіреляційної та мережної моделі даних. Задана їх класифікація на основі поняття колекцій та відношень видів один до одного та один до багатьох на елементах колекцій. Побудована класифікаційна схема дозволила виявити та описати нові моделі даних, такі як рекурсивні таблиці, багаторівневі таблиці та таблиці з варіантними рядками.

Спеціальні теоретико-множинні конструкції: повний образ, обмеження, сумісність, проекція, узагальнений прямий добуток (Д.Буй, Н.Кахута) [12-17]

Досліджено теоретико-множинні конструкції повного образу, обмеження, конфінальності, сумісності, узагальненого прямого добутку. Отримані результати перенесено в теорію табличних алгебр, що суттєво її збагачує: монотонність та дистрибутивність проекції, з'єднання, насичення, перейменування; коректне означення перейменування та з'єднання; комутативність та асоціативність з'єднання; явний вигляд часткового порядку піврешітки таблиць за з'єднанням; властивості проекції, насичення та активного доповнення; комутативність, асоціативність узагальненого з'єднання, існування одиниць за цим з'єднанням.

Побудовано узагальнену табличну алгебру зняттям вимог фінітності таблиць та односхеменості рядків таблиць.

Узагальнена таблична алгебра та відповідні числення на доменах та кортежах (Д.Буй, І.Глушко) [18-21]

Побудовано табличну алгебру нескінченних (скінченних) таблиць, яка є узагальненням класичної табличної алгебри. Під реляцією розуміється довільна множина односхеменних рядків, зокрема, нескінченна, при цьому кожній таблиці приписується певна схема.

Класичне числення рядків та числення на домені поповнено довільними предикатними та функціональними сигнатурами на універсальному домені. Показана еквівалентність

табличної алгебри нескінченних таблиць і відповідних реляційних числень.

Узагальнене числення рядків та узагальнене числення на домені обмежені для використання скінченних таблиць шляхом розгляду лише так званих безпечних виразів. Показано еквівалентність табличної алгебри скінченних таблиць, обмеженого узагальненого числення рядків і обмеженого узагальненого числення на домені.

Сигнатуру табличної алгебри нескінченних (скінченних) таблиць розширено новими операціями над таблицями: операціями внутрішніх і зовнішніх з'єднань, операцією напівз'єднання, зовнішніми множинними операціями, агрегатними операціями. Для задання агрегатних операцій (*Sum*, *Avg*, *Min*, *Max*, *Count*) використовується поняття мультимножини, а для задання зовнішніх операцій введено особливий елемент універсального домену *NULL*.

Побудовано мультимножинну табличну алгебру, в якій поняття таблиці уточнюється, використовуючи поняття мультимножини, причому кожній таблиці приписана певна схема. Задано основні операції над таблицями: об'єднання, перетин, різниця, селекція, проекція, з'єднання, активне доповнення й перейменування. Для кожної операції визначено основу результуючої таблиці та кількість дублікатів кожного рядка. Побудовані мультимножинні аналоги операцій внутрішніх і зовнішніх з'єднань, операції напівз'єднання, агрегатних операцій.

Теорія нормалізації табличних БД (Д.Буй, А.Пузікова) [22-23]

Наведено строге та повне доведення повноти аксіоматики Армстронга щодо функціональних залежностей в реляційних базах даних, яке наслідуює традиції встановлення повноти в математичній логіці: введені відношення синтаксичного та семантичного слідування та показана їх збіжність. В якості математичного апарата використані властивості теоретико-множинної конструкції обмеження функції за множиною.

Уточнено умови, в межах яких аксіоматика Армстронга є повною.

Теорія мультимножин та її застосування в табличних БД (Ю.Богатирьова, Д.Буй) [24-29]

Досліджено властивості операцій над мультимножинами, що є наслідками властивостей теоретико-числових функцій муніума, максимуму, зрізаної різниці, модуля.

Операції додавання, перетину, різниці, з врахуванням та без врахування дублікатів, є адекватними уточненнями аналогів теоретико-множинних операцій над таблицями в БД.

Розглянуто частково впорядковану множинну мультимножин, яка відноситься до відомих класів частково впорядкованих множин: решіток, умовно повних множини, повних піврешіток. Решітка мультимножин допускає два простих та природних вкладення у повні решітки.

Знайдено системи породжуючих множинної та мультимножинної примітивної програмної алгебри, що є спорідненими між собою.

Продемонстровано адекватність моделі примітивної програмної алгебри для репрезентативних предметних областей: ДНК-обчислення та маніпуляції над таблицями у сучасних СУБД.

Сильна та слабка трізначні логіки Кліні (Д.Буй, С.Поляков, О.Шишацька) [30-32]

Продемонстровано природне виникнення трьохзначної сильної логіки Кліні з алгебри класичної булевої логіки шляхом застосування загальнозначущої конструкції розповсюдження операцій з елементів на множини елементів в термінах повного образу.

Побудована решітка логічних значень трьохелементної логіки Кліні, яка використовується для компактного задання логіки.

Запропоновано механізм інтерпретації формул з кванторами в трьохзначних логіках Кліні.

ER-модель та CASE-засоби її підтримки (Д.Буй, Л.Сільвейструп) [33-37]

Головним результатом є побудова розділу математичної теорії моделі „сутність-зв'язок”, який є формальним підґрунтям для створення загальноприйнятого стандарту моделі і має істотне значення для користувачів цієї моделі та розробників CASE-засобів підтримки моделі „сутність-зв'язок”:

На основі аналізу моделі „сутність-зв'язок” уніфіковані її основні елементи: тип сутності, сутність, тип зв'язку, зв'язок, слабкий тип сутності, сильний тип сутності, слабкий тип зв'язку, сильний тип зв'язку, тип сутності суперклас, тип сутності підклас, тип сутності категорія, тип зв'язку суперклас/підклас, тип зв'язку *isa*. Уточнення понять моделі „сутність-зв'язок” проводиться на найбільш абстрактному рівні – на рівні множин та відношень.

Формалізована вимога коректності моделі по слабким типам зв'язків (щодо успадкування). Введенням операторів *min*, *max*, *top*

формалізовані базові типи обмежень кардинальності для бінарних та багатосторонніх типів зв'язків.

Проаналізовано сучасний стан обмежень кардинальності моделі „сутність-зв'язок”. Розглянуто і формалізовано обмеження кардинальності: кардинальність „дивитися через”, кардинальність участі, узагальнена кардинальність участі. Проведені уточнення вказують на єдину природу походження всіх підходів до визначення обмежень кардинальності.

Доведена низка тверджень про логічні зв'язки між: 1) \min та \max обмеженнями кардинальності для підходів „дивитися через” і участі, обґрунтована необхідність їх одночасного використання; 2) обмеженнями кардинальності для обмеженої та необмеженої кардинальності, показано, що за допомогою \min і \max обмеження кардинальності для необмеженої кардинальності можна виразити інші базові типи обмеження кардинальності; 3) обмеженнями кардинальності для бінарних та багатосторонніх типів зв'язків при підходах „дивитися через” і участі, показано, що дані підходи принципово різні при розгляді тільки багатосторонніх типів зв'язків.

Доведено твердження про сумісність значень операторів \min, \max на взаємоінверсних бінарних відношеннях (отриманий аналогічний

результат для уточнень багатосторонніх типів зв'язків): для довільного розподілу значень операторів існує відношення, на якому ці значення досягаються. Таким чином, в загальному випадку немає логічного зв'язку між значеннями операторів \min, \max на вихідному бінарному та оберненому відношеннях. Отже, при накладанні значень \min і \max обмежень кардинальності (необмежена кардинальність) на бінарний тип зв'язку за обома типами сутностей відсутня необхідність перевірки сумісності значень.

Об'єктно-реляційні БД (Д.Буй, С.Компан) [38-40]

Проведено формальне уточнення поняття об'єкту, класу, методів, успадкування класів, та життєвого циклу об'єкту. За допомогою операції накладання формально описано просте та множинне успадкування.

Формальні методи розробки програм (Д.Буй, І.Ткачук) [41-42]

Запропоновано формалізацію одного з ключових інструментів побудови специфікацій в рамках формального Бі-методу, так званих узагальнених підстановок (generalized substitutions). Формалізація проводиться на основі принципів композиційно-номінативного підходу.

Список використаних джерел

1. *Buy D.B.* Composition semantics of the recursive queries in family of the SQL languages / D.B.Buy, S.A.Polyakov // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. – 2010. – No.1. – P. 45-56. (in Ukrainian).
2. *Redko V.N.* Relational data base: table algebras and family of the SQL languages / V.N.Redko, U.I.Brona, D.B.Buy, S.A.Polyakov. – Kiev: Publisher "Academperiodica", 2001. – 196 p. (in Ukrainian).
3. *Brona U.I.* Compositional semantics of the family of the SQL languages: aggregation functions/ U.I.Brona, D.B.Buy, S.P.Zagorskiy, S.A.Polyakov // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. – 2000. – No.1. – P. 178-192. (in Ukrainian).
4. *Buy D.B.* Composition semantics of the family of the SQL languages: table data structures / D.B.Buy, S.A.Polyakov // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. – 1999. – No.1. – P. 130-140. (in Ukrainian).
5. *Buy D.B.* Compositional structures of the family of the SQL languages: filters and complete image / D.B.Buy, S.A.Polyakov // Bulletin of the Lviv. Series Physics & Mathematics. – 1998. – No.50. – P. 24-26. (in Ukrainian).
6. *Redko V.N.* Relational algebra: operations projection and connection / V.N.Redko, U.I.Brona, D.B.Buy // Cybernetics and Systems Analysis. – 1997. – No. 4. – P. 89-100. (in Ukrainian).
7. *Redko V.N.* Relational algebra: operation of division and rename operation / V.N.Redko, U.I.Brona, D.B.Buy // Cybernetics and Systems Analysis. – 1997. – No. 5. – P. 3-15. (in Ukrainian).
8. *Buy D.B.* Set-theoretic construction in the theory of relational databases / D.B.Buy, U.I.Brona // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. – 1996. – No.1. – P. 216-224. (in Ukrainian).

9. Redko V.N. On the foundations of the theory of relational database models / V.N.Redko, D.B.Buy // *Cybernetics and Systems Analysis*. – 1996. – No 4. – P. 3-13. (in Ukrainian).
10. Redko V.N. Mutual non-derivative and the expressive power of relational algebra operations / V.N.Redko, U.I.Brona, D.B.Buy // *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. Math. Natural. Engineering*. – 1996. – No. 11. – P. 84-88.
11. Redko V.N. Manipulative aspects of databases: a compositional approach / V.N.Redko, D.B.Buy, S.P.Zagorskiy // *Cybernetics*. – 1989. – No. 6. – P. 105-113. (in Ukrainian).
12. Buy D.B.. Full image, restriction, projection, relationship compatibility / D.B.Buy, N.D.Kahuta // *Theoretical and Applied Aspects of Program Systems Development: international conference, December 8-10, 2009: abstracts*. – Kyiv, Ukraine. – 2009. – C.244-260.
13. Kahuta N.D. Criteria injectivity of binary relations / N.D.Kahuta // *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics*. – 2007. – No.3. – P. 141-146. (in Ukrainian).
14. Kahuta N.D. Compatibility relation, generalized connection and generalized direct product / N.D.Kahuta // *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics*. – 2007. – No.4. – P. 167-173. (in Ukrainian).
15. Buy D.B. Properties of the relation cofinality and device set of partial functions / D.B.Buy, N.D.Kahuta // *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics*. – 2006. – No.2. – P. 125-135. (in Ukrainian).
16. Buy D.B. Set-theoretic construction of a complete image, restrictions, cofinality and consistency in the foundations of relational databases / D.B.Buy, N.D.Kahuta // *Intelligent Systems and Computer Science: International Conference, 23-27 October 2006, Moscow, Faculty of Mechanics and Mathematics. MSU: Proceedings*. – 2006. – Vol. 1. – P. 72-76.
17. Buy D.B. Properties of set-theoretic constructions full image and restrictions / D.B.Buy, N.D.Kahuta // *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics*. – 2005. – No.2. – P. 232-240. (in Ukrainian).
18. Glushko I.M. Extending (nonclassical) table algebra / I.M. Glushko // *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Physics & Mathematics*. – 2012. – No.2. – P. 116-123. (in Ukrainian).
19. Buy D.B. Generalized table algebra, generalized tuple calculus, generalized domain calculus and their equivalence / D.B. Buy, I.M. Glushko // *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Physics & Mathematics*. – 2011. – No.1. – P. 86-95. (in Ukrainian).
20. Buy D. Equivalence of Table Algebras of Finite (Infinite) Tables and Corresponding Relational Calculi / D. Buy, I. Glushko // *Proceedings of the Eleventh International Conference on Informatics INFORMATICS'2011, November 16-18, 2011, Rožňava, Slovakia*. – P. 56-60.
21. Glushko I.M. Multiset table algebra / I.M. Glushko // *Proceedings of the International Scientific Conference of Student and Young Scientists "Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics" (TAAC'2011, Kyiv, Ukraine, February 21–25, 2011)*. – P. 77-79.
22. Puzikova A.V. Completeness of Armstrong's axiomatic / A.V. Puzikova // *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Series Physics & Mathematics*. – 2011. – No.3. – P. 103-108. (in Ukrainian).
23. Puzikova A.V. Completeness criterion for Armstrong's axiomatic / A.V. Puzikova // *In Proceedings of the International Conference «Theoretical and Applied Aspects of Program Systems Development» (TAAPSD'2011, Ukraine, Yalta, 2011 September 19-23)*. – P. 30-34.
24. Bogatyreva J. Primitive programming algebras of functions with set (multiset) arguments and values / J. Bogatyreva, D. Buy, V. Redko // *Reports of National Academy of Science of Ukraine. №9*. – 2011. – P. 32-35.
25. Buy D. Modern state of multiset theory / D. Buy, J. Bogatyreva // *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: physical and mathematical science*. – 2010. – No.1. – P. 51-58. (in Ukrainian).
26. Buy D. Multiset Bibliography. Methods of Multiset Lattice Construction / Dmitry Buy, Juliya Bogatyreva // *Papers of 9th International Conference on Applied Mathematics, February 2-5, 2010. – Bratislava*. – 2010. – P. 407-413.
27. Buy D. Structure of Partially Ordered Family of Multisets / Dmitry Buy, Juliya Bogatyreva // *Proceedings of CSE 2010*

- International Scientific Conference on Computer Science and Engineering, September 20-22, 2010, Košice – Stará Ľubovňa, Slovakia. – P. 40-43.
28. Buy D. Multiset as alternative of theoretical-set platform in mathematical grounds of information technologies / D. Buy, J. Bogatyreva // Information Model of Knowledge. – ITHEA №19. – P. 377-386.
 29. Buy D. Towards the question of multiset lattice / D. Buy, J. Bogatyreva // Materials of X International Seminar "Discrete mathematics and its applications" (Moscow, MSU, February 1–6, 2010) / Edited by O. Kasim-Zade. Publisher: mechanical and mathematical department of MSU, 2010. – P. 220-222.
 30. Buy D.B. Three-valued logic of Kleene and three-element chains / D.B. Buy, O.V. Shyshatska // International Book Series "Information Science & Computing". N1: Supplement to International Journal "Information Technologies & Knowledge". – 2008. – V.2. – C. 230-236.
 31. Buy D.B. Three comments on three-valued logic of Kleene / D.B. Buy, S.A. Polyakov, O.V. Shyshatska // Theoretical and Applied Aspects of Program Systems Development: international conference, September 4-9, 2007: abstracts. – Kyiv, Ukraine. – 2007. – C. 47-51.
 32. Shyshatska O.V. Three-valued logic of Kleene and three-element chains / O.V. Shyshatska // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. – 2007. – No.4. – P. 230-236. (in Ukrainian).
 33. Silvestruk L. Binary and multiway relationship types of ER-model / L. Silvestruk // First International Workshop Critical Infrastructure Safety and Security (CrISS-DESSERT'11), Kirovograd, Ukraine, May, 11-13 2011, Proceedings Volume 2. – P.112-116.
 34. Buy D. Formalization of model entity-relationship / D. Buy, L. Silvestruk // Kyiv: Publishing center "Kyiv University", 2011. – 176 p. (in Ukrainian).
 35. Silvestruk L. Generalized participation cardinality in entity-relationship model / L. Silvestruk // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. – 2011. – No. 2. – P. 142-146. (in Ukrainian).
 36. Buy D. Specification of constraints min and max common cardinality in entity-relationship model / D. Buy, L. Silvestruk // Mathematical Machines and Systems – 2009. – No. 4. – P. 67-81. (in Ukrainian).
 37. Buy D. Formalization of structural constraints of relationships in model "entity-relationship" / D. Buy, L. Silvestruk // Electronic Computers and Informatics'2006: international scientific conference, September 20-22, 2006, Kosice, Slovakia: proceedings. – Kosice. – 2006. – P. 96-101.
 38. Buy D.B. Using object-relational mapping when working with relational databases / D.B. Buy, S.V. Kompan / Proceedings of the Eighth International Scientific Conference on Programming UkrProg'2011, 19-23 september 2011, Yalta: – P. 35-41.
 39. Buy Dmitriy. The Concepts of Object, Class, Inheritance, Life Cycle: Formalization / Dmitriy Buy, Sergiy Kompan // First International Workshop Critical infrastructure safety and security (CrISS-Dessert'11), Kirovograd, Ukraine, May, 11-13, 2011, Proceedings Volume 2. – P. 235-243.
 40. Buy D.B. Union and intersection operations of classes specifications in heterogen algebraic system for object-oriented programming / D.B. Buy, S.V. Kompan / Collection of scientific works SWorld. Materials of the International Scientific Conference "Modern Problems and Solutions in science, transportation, manufacturing and obrazovani'2012". – Issue 4. Volume 3. – Odessa Kuprienko, Ukraine, 2012. – P.45-48.
 41. Buy Dmitriy. Fault-Free Programs Using B Formal Method / Dmitriy Buy, Ihor Tkachuk // First International Workshop Critical infrastructure safety and security (CrISS-DESSERT'11), Kirovograd, Ukraine, May, 11-13, 2011, Proceedings. – Volume 2. – P. 244-248.
 42. Tkachuk I.Y. Formalizing substitutions Bimethod / I.Y. Tkachuk // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. – 2010. – No.4. – P. 189-192. (in Ukrainian).

Надійшла до редколегії 17.01.13