

УДК 519.711.3

## **ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ФОРМАЛЬНОЙ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОРТАЛОВ ЗНАНИЙ**

**Л.С. Глоба, Р.Л. Новогрудская**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина  
lgloba@its.kpi.ua*

### **Аннотация**

В работе представлен подход к проектированию расчётных задач на инженерных порталах знаний, основанный на формальной алгебраической системе, которая позволяет получить требуемый общий расчёт как результат выполнения системы алгебраических формализмов. Цель работы – повышение эффективности обработки, переработки, хранения и доступа к информационным и вычислительным ресурсам специализированных инженерных интернет-порталов знаний за счет систематизации слабосвязной сложноструктурированной разнородной информации путем построения формальной алгебраической системы порталов знаний. Основными задачами исследования являются: формализация знаний для представления контекстно-независимых структур, которые позволяют оперировать с информацией, представленной на порталах, в независимости от рассматриваемой предметной области; разработка математической модели порталов инженерных знаний; интеграция вычислительных ресурсов в информационную среду портала путем унификации и формализации элементов связности расчётных задач; разработка метода формирования сложных инженерных расчётов. Алгебра расчётов описывает последовательность выполнения частных расчётов, при этом формализмы алгебры расчётов портала знаний представляются множеством операций заданного вида на хранимом наборе информационных и вычислительных ресурсов портала.

**Ключевые слова:** *портал знаний, алгебра расчётов, расчётная задача, инженерный портал, информационные элементы, функциональные элементы, операции.*

### **Введение**

В настоящее время наблюдается тенденция к систематизации и структуризации данных различных предметных областей (ПрО), результатом которой является создание различных информационных систем, систем автоматизации либо управления производственной деятельностью, а также, порталов знаний, либо порталов знаний предприятий (knowledge management portals). Основной задачей таких систем является реализация методов поиска и связности элементов этих систем, направленная на оптимизацию времени доступа к информационным ресурсам. Такая задача влечет за собой ряд проблем:

- построение концептуальной модели системы;
- разработка формальной логики, описывающей мета-структуру элементов системы;
- построение метода поиска по информационному пространству системы.

На сегодняшний день существует большое количество научных и исследовательских институтов, организаций, университетов, которые накапливают и хранят большие объемы технической и научной информации. Естественной потребностью для конечного пользователя является создание единой точки доступа к разнородным территориально-разнесенным информационным и вычислительным ресурсам. Важное требование в таком случае – возможность конечному пользователю получить именно необходимую ему информацию за достаточно короткое время, невзирая на место ее расположения. Среди множества средств, предоставляющих такой доступ, можно выделить электронные архивы, библиотеки, онлайн-системы, сайты и порталы. Наиболее эффективным средством из всех вышеперечисленных

являются порталы знаний, поскольку они позволяют не только получить доступ к информационным ресурсам, хранящимся в их базах, но и, используя данные, знания и сервисы, реализовать определённые вычислительные задачи ПрО.

## 1 Проблемы проектирования порталов знаний

Эффективность использования порталов знаний следует из удобства пользования информацией, сосредоточенной в их среде. Это означает с технической стороны, что портал знаний должен обеспечивать интеграцию и совместную работу сервисов, баз данных и знаний, информационных хранилищ и вычислительных ресурсов. Следовательно, основной проблемой при их проектировании является построение корректной концептуальной модели и модели представления знаний [1].

В зависимости от ПрО, которой посвящен портал, необходимо определить присутствие в его среде информационных и вычислительных ресурсов. Если проектирование направлено на построение порталов научных знаний, тогда разработка его концептуальной модели не составит труда, а в качестве модели представления знаний можно выбрать семантическую, либо онтологическую модель [2-5]. Если же результат проектирования – инженерный портал, то возникает ряд дополнительных проблем: определение механизма связывания информационных ресурсов с вычислительными, описание характеристик вычислительных и информационных ресурсов в зависимости от рассматриваемой ПрО, определение результата выполнения вычислительного ресурса, описание последовательности взаимодействия вычислительных ресурсов для реализации более глобальных вычислений. Из этих проблем следует необходимость решения следующих задач:

- построение логической модели портала;
- построение метода вывода в терминах логики портала;
- разработка технологии проектирования портала.

Таким образом, необходимо описать не только доступные пользователю на портале расчётные задачи, такие как сервисы вычислений, но и установить связи между конкретными сервисами (набором сервисов) для реализации конкретных рабочих процессов расчётных задач в рамках общих рабочих процессов портала, а также установить связи сервисов с информационными ресурсами, что необходимо для решения конкретных производственных задач пользователя [6].

В зависимости от параметров, заданных пользователем и тематикой расчётной задачи, она может быть выполнена с помощью различных алгоритмов. При построении реальных научных и инженерных задач используется их декомпозиция на подзадачи, которые в зависимости от направления общей задачи и параметров, которые используются при расчёте, могут компоноваться в общий расчёт динамически, причем одна из подзадач может использоваться в нескольких расчётах. Исходя из всего вышесказанного, возникает задача разработать и описать алгебру связности расчётных задач.

## 2 Особенности предметной области

Как уже было сказано, важное место в построении портала знаний занимает интеграция расчётных задач, которые являются предметно-ориентированными и занимают важное место при проведении различного рода исследований в конкретных ПрО. Существует необходимость осуществить корректное внедрение этих задач в информационную среду портала [7].

В среде портала знаний можно выделить два типа элементов: информационные и функциональные элементы. К информационным элементам  $E_i$  относятся статические элементы,

которые не несут никакой функциональной нагрузки, сами по себе не являются процессом и не включают последовательность работ внутри себя. Подход к анализу информационных элементов должен учитывать необходимость их описания и классификации. Функциональные элементы  $E_{\phi}$  являются динамически изменяемыми элементами и содержат последовательность действий внутри себя. При анализе  $E_{\phi}$  их необходимо рассматривать не просто как объект, а как комплекс последовательности работ, которые выполняются в рамках каждого такого объекта. К таким элементам относятся расчётные задачи портала знаний, бизнес-процессы, исполняемые на портале и другие активные вычислительные компоненты.

Каждый расчёт в инженерной ПрО состоит из множества подрасчётов. Результатом выполнения полного расчёта является полная характеристика исследуемого объекта и вывод о возможности его использования при проектировании конкретной детали, как одной из составных частей сложной конструкции. Полный расчёт обязательно состоит из двух расчётов: выбор основных параметров и поверочный расчёт, которые, в свою очередь, состоят из нескольких групп расчётов. На этапе выбора основных параметров рассчитываются значения основных характеристик и параметров конструкции, а на этапе поверочного расчёта - проверяется, соответствуют ли определенные характеристики исследуемого объекта требованиям к соответствующим характеристикам конструкции.

Таким образом, расчёты, которые входят в группу расчёта основных параметров, направлены, в основном, на вычисление по заданным заранее общим правилам или формулам. Однако основной особенностью инженерных ПрО и основным отличием их расчётов от расчётных задач любой другой ПрО является то, что под каждым конкретным подрасчётом группы поверочного расчёта понимается набор условий, которым должен соответствовать проверяемый объект исследования. Такой набор условий установлен для того, чтобы можно было определить возможность использования такого объекта для создания конструкции.

Из вышесказанного следует ряд специфических задач, связанных с разработкой расчётных задач инженерного портала. *Во-первых*, необходимо учесть логику связывания подрасчётов в общие расчёты, поскольку нет необходимости хранить одинаковые шаблоны для одних и тех же подрасчётов, которые могут использоваться в разных общих расчётах. *Во-вторых*, необходимо выделить специфические объекты ПрО, которые станут базовыми элементами связности расчётов, а также выделить на уровне логики основные операции, используемые в расчётных задачах портала. *В-третьих*, нужно разработать метаописания, характеризующие расчётные задачи инженерных порталов знаний.

Множество метаописаний функциональных элементов портала знаний предложено разбить на три подмножества:

- *стандартные метаописания*, которые строятся согласно стандарту дублинского ядра и описывают основные характеристики функциональных элементов;
- *специфические метаописания* – метаописания, связанные с конкретной ПрО;
- *метаописания, устанавливающие связь*, – используются для определения связи элемента с другими элементами, информационными ресурсами, расчётными задачами (функциональными элементами).

Выделим следующие метаописания, описывающие различные характеристики расчётных задач.

*Стандартные метаописания*

$$A_{st} = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\};$$

*Title* (название, имя ресурса) –  $A_1$  (атрибут)

Название атрибута	Описание атрибута
Title	Имя, данное ресурсу. Данный элемент, как правило, содержит формальное имя, под которым данный ресурс известен.

*Identifier* (идентификатор) –  $A_2$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Identifier	Уникальный идентификатор, рассматривается также как номер функционального элемента

*Adress* (адрес) –  $A_3$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Adress	Ссылка на место расположения ресурса

*Subject* (ПрО) –  $A_3$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Subject	Узкая ПрО применения данного функционального элемента

*Description* (описание) –  $A_4$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Description	Текстовое описание функционального элемента

*Data* (данные) –  $A_5$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Data	Тип данных, которые содержит функциональный элемент

*Специфические для ПрО метаописания  
(на примере портала «Прочность материалов»)*

$$A_{st} = \{A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}\}:$$

*Parameters* (параметры) –  $A_6$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Parameter	Параметры, которые употребляются при расчёте

*Loading* (нагрузки) –  $A_7$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Loading	Нагрузки, о которых упоминается в расчёте

*Methods* (методы) –  $A_8$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Methods	Методы расчётов, которые встречаются в расчёте

*Element* (элемент) –  $A_9$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Element	Элемент, связанный с расчётом или для которого проводится расчёт

*Measurement area* (площади измерений) –  $A_{10}$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Measurement area	Площади конструкций, для которых актуальны приводимые в расчёте формулы, либо для которых проводится расчёт, либо которые встречаются в расчёте

*Метаописания, устанавливающие связь*

$$A_{st} = \{A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}\}:$$

*Regulatory* (нормативный документ, в котором описан расчёт) –  $A_{11}$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Regulatory	Название нормативного документа (ГОСТ, ISO, Нормы расчёта), который связан с функциональным элементом

*Computation* (ссылочный расчёт) – A<sub>12</sub>

Название атрибута	Описание атрибута
Computation	Расчёт (функциональный элемент), с которым связан данный расчёт

*General computation* (общий расчёт) – A<sub>13</sub>

Название атрибута	Описание атрибута
General computation	Общий функциональный элемент (если возможно его идентифицировать)

*Material* (материал) – A<sub>14</sub>

Название атрибута	Описание атрибута
Material	Материал, который встречается в расчёте

### 3 Формальная алгебраическая система порталов знаний

Приведем алгебру расчётов, которая позволяет получить требуемый общий расчёт в результате выполнения определенной системы алгебраических формализмов, позволяющей задать последовательность выполнения частных расчётов. Алгебра формализмов для расчётов портала знаний представляется множеством операций заданного вида на хранимом наборе информационных и вычислительных ресурсов портала [8, 9].

Пусть на множестве  $E_\phi$  и  $E_i$  портала определены:

- некоторое непустое множество  $A$ , частично определенная функция  $y = F(x_1, \dots, x_n)$ ,  $(y, x_1, \dots, x_n) \in A$ , которая является  $n$ -арной частичной операцией на  $A$ ;
- система  $U_A = \langle A, \Omega \rangle$ , состоящая из основного множества  $A$  и определенной на нем совокупности частичных операций  $\Omega = \{F^{ns}_s\}$  ( $s = 1, 2, \dots$ ), которая является частичной универсальной алгеброй с сигнатурой  $\Omega$ ;
- две однотипные универсальные алгебры  $U_A = \langle A, \Omega \rangle$  и  $U_B = \langle B, \Omega' \rangle$  с основными множествами  $A$  и  $B$ . Универсальные алгебры  $U_A$  и  $U_B$ , в которых заданы соответственно сигнатуры  $\Omega$  и  $\Omega'$ , являются однотипными, если можно установить такое взаимно-однозначное соответствие между сигнатурами  $\Omega$  и  $\Omega'$ , при котором любая операция  $\omega \in \Omega$  и соответствующая ей операция  $\omega' \in \Omega'$  будут  $n$ -арными с одним и тем же  $n$ ;
- гомоморфные и изоморфные отображения по определениям:
  - если для любых элементов  $a_1, \dots, a_n$  и произвольной  $n$ -арной операции  $F \in \Omega$  выполняется соотношение  $\psi(F(a_1, \dots, a_n)) = F(\varphi(a_1), \dots, \varphi(a_n))$ , где  $\varphi(a_i) = b_i$  и  $b_i \in B$  ( $i=1, \dots, n$ ), то отображение  $\varphi: A \rightarrow B$  является гомоморфным отображением алгебры  $U_A$  в алгебру  $U_B$ ;
  - если между основными множествами  $A$  и  $B$  устанавливается взаимно-однозначное соответствие, то отображение  $\varphi$  называется изоморфным отображением, а алгебры  $U_A$  и  $U_B$  называются изоморфными;
  - если  $\pi(x_1, \dots, x_n)$ ,  $x_1, \dots, x_n \in A$   $n$ -местный предикат  $\Pi = \{\pi^{ns}_s\}$ , где ( $s = 1, 2, \dots$ ) сигнатура предикатов, то система  $U_A = \langle A; \Omega; \Pi \rangle$  называется универсальной алгебраической системой. Между алгебраическими системами также можно устанавливать гомоморфные и изоморфные отображения;
- многоосновная алгебра, как система  $U_M = \langle M; \Omega \rangle$ , состоящая из семейства основных множеств  $M = \{A_\alpha\}$  ( $\alpha = 1, 2, \dots$ ) и сигнатуры  $\Omega$  операций, определенных на семействе  $M$  так, что каждая  $n$ -арная операция из  $\Omega$  является отображением декартова произведения  $n$  множеств из семейства  $M$  в множество из того же семейства  $A_{\alpha_1} \times \dots \times A_{\alpha_n} \rightarrow A_\alpha$ ;
- многоосновная алгебраическая система, как система  $U_M = \langle M; \Omega; \Pi \rangle$ , где  $\Pi$  — сигнатура  $n$ -местных предикатов  $\pi: A_{\alpha_1} \times \dots \times A_{\alpha_n} \rightarrow \{0, 1\}$ ;



- поле, как пара  $P = \langle Num_i, A_i \rangle$  ( $i = 1, \dots, p$ ), где  $Num_i$  — номер, а  $A_i$  — множество значений поля;
- кортежи  $K = \{P_1, \dots, P_p\}$ , которые являются множествами типа  $K$ .

Для возможности совместного использования различных расчётных задач, представленных на портале и связанных с ними информационных ресурсов, упрощения процесса связывания расчётов в общий расчёт, рассмотрим элементы алгебры расчётов. Алгебра расчётов представляется формализмами, описывающими каждый расчёт ПрО, и состоит из определения расчётов, операций над расчётами, соответствующих аксиом и теорем, позволяющих описать процесс обслуживания расчётов информационными ресурсами.

Пусть метаописание расчётных задач портала задается как  $A = \langle N, M \rangle$ , где  $N = \{N_1 N_2, \dots, N_n\}$  — множество имен атрибутов,  $M = \{M_1 M, \dots, M_n\}$  — множества значений атрибутов и, таким образом,  $m_i^j$  —  $j$  значение из  $i$ -ого множества значений атрибутов. Под набором расчётов, которые входят в общий расчёт, будем понимать отношение на множестве значений некоторого подмножества атрибутов расчёта. Тогда схему отношений  $R_k$  можно записать в виде  $R_k = (R_1, R_2, \dots, R_n)$ , где множество можно разделить на отношения, заданные на трех выделенных множествах расчётов в зависимости от выделенных типов метаописаний [10].

Условие расчёта представляет собой любую логическую формулу, в которой:

- переменные – имена атрибутов  $N_1 N_2, \dots, N_n$ ;
- константы – элементы соответствующих множеств  $M_1 M, \dots, M_n$ ;
- предикатные символы – символы отношений  $\langle \rangle \leq \geq = \neq$ ;
- символы логических связок – символы логических операций  $\wedge, \vee, -$ .

Расчётом  $C_k$  назовем систему  $\langle R_k A_k \rangle$ , где  $R_k$  - отношение со схемой  $R_k = (R_1, R_2, \dots, R_n)$ ,  $A_k$  – логическая формула условия.

Опишем правила формирования расчёта.

**Аксиома 1.** В набор расчётов для формирования общего расчёта могут входить те, и только те расчёты, атрибуты которых удовлетворяют заданному условию:

$$C_t = \{C_1, C_2, \dots, C_n \in C_t \mid \forall d_i \in A_i(M_i), \forall d_j \in A_j(M_j) : d_i = d_j\}.$$

Выполнение условий связано с истинным значением логической формулы, определяющей заданное условие, при подстановке в нее значений метаописаний из множества расчётов, т.е. условие для расчёта играет роль семантической связки или проверки, которая позволяет добавить в общий расчёт только те расчёты, для которых это условие истинно.

Также, в алгебре расчётов можно выделить два типа расчётов:

- пустой расчёт –  $C_k = \langle R_k A_k \rangle$  в котором условие  $A_k$  принимает ложное значение.
- полный расчёт –  $C_k = \langle R_k A_k \rangle$  в котором условие  $A_k$  является конъюнкцией всех возможных условий базы.

**Аксиома 2.** Произвольный расчёт портала знаний, заданный по схеме  $R_k$  – это расчёт типа  $C_k = \langle R_k A_k \rangle$ .

Множество условий  $A_k$  представим как совокупность подмножеств условий -  $P_k$  и формул, которыми эти условия задаются -  $Q_k$ .

Условие формируется по сложному правилу, особенно когда оно играет роль механизма выбора для включения расчёта в общий расчёт.

**Аксиома 3.** Логическая формула условия и операнд условия:

- если  $A$  – имя метаописания, то  $A$  – операнд условия;
- если  $A$  – значение метаописания, то  $A$  – операнд условия;
- если  $A$  и  $B$  – операнды условия, то каждое из выражений  $(A+B)$ ,  $(A-B)$ ,  $(A*B)$ ,  $(A:B)$ ,  $(-A)$  – операнды условий;
- операнд не может быть получен никак, кроме описанных выше способов.

В результате сказанного, условие  $P_k$  можно определить следующим образом:

- Т-условие  $P_k$ ;
- если  $A$  и  $B$  – операнды условия  $P_k$ , то  $A \Omega B$ , где  $\Omega = \{>, <, \leq, \geq, =, \neq\}$  – условие  $P_k$ ;
- если  $A$  и  $B$  – условия  $P_k$ , то  $(A+B)$ ,  $(A-B)$ ,  $(A*B)$ ,  $(A:B)$ ,  $(-A)$  – условия  $P_k$ .

Рассмотрим выполнение логического правила «для того, чтобы объединить расчёты в один общий, необходимо выполнение одного из следующих условий»:

- все рассматриваемые расчёты объединяются в общий расчёт;
- некоторые из рассматриваемых расчётов (множеств расчётов) не объединяются в общий расчёт, остальные объединяются;
- в общий расчёт или объединяется одно множество расчётов, а другое нет, или же наоборот;
- других условий не существует.

Таким образом, условия выполнения расчётов определяются операциями алгебры логики:  $\wedge$ ,  $\vee$ ,  $\neg$ .

Необходимо доказать возможность применения теории алгебры логики для формирования условий инженерных расчётов на базе описанных выше операций [11, 12].

Выделим следующие базовые элементы алгебры расчётов:

**Объекты.** Объектами являются основные элементы алгебры, над которыми проводятся все операции алгебры. В алгебре расчётов под множеством объектов понимается множество фактических расчётов.

**Операции.** В алгебре расчётов выделяют два множества операций - простые и сложные:

#### И. Простые операции

И.И. Элементарные операции:

- + - сложение;
- \* - умножение.

И.ИИ. Множественные операции:

- $\subseteq$  - нестрогое включение;
- $\subset$  - строгое включение;
- $\not\subset$  - отрицание включения;
- $\in$  - принадлежность;
- $\notin$  - не принадлежность.

И.ИИИ. Логические операции. В множестве логических операций алгебры расчётов выделяют подмножество унарных операций и подмножество  $n$ -арных операций:

*Унарные операции:*

- $d$  – дополнение;
- $-1$  – инверсия.

*$n$ -арные операции:*

- $\vee$  – дизъюнкция;
- $\wedge$  – конъюнкция;
- $\setminus$  – разность;
- $\sim$  – эквивалентность;
- $\circ$  – композиция.

#### ИИ. Сложные операции

Операция последовательного соединения.

Операция параллельного соединения.

Операция логического соединения.

Операция инверсии.

**Данные.** Элементы, которые подаются на вход системы, а также элементы, полученные на выходе конкретных расчётов; например, для алгебры расчётов данными могут быть различные константы, переменные, результаты операций над ними. На физическом уровне данные представлены значениями различных параметров и характеристик ПрО, формулами, границами значений, а также непосредственно частичными расчётами, которые могут поступать как входные данные на вход общих расчётов [13].

## 4 Операции алгебры расчётов

### 4.1 Простые операции

Рассмотрим три вида простых операций алгебры расчётов: элементарные, множественные и логические операции.

*Элементарные операции* являются представлением обычных алгебраических операций согласно их определению: сложение  $+$  – обозначает процесс суммирования значений элементов схем отношений или метаописаний; умножение  $*$  – обозначает процесс произведения значений элементов схем отношений или метаописаний.

*Множественные операции:*

- $\subseteq$  – нестрогое включение. **Определение 1.** Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  – включает расчёт  $C_1$  ( $C_3 \subseteq C_1$ ), если  $C_3$  содержит все кортежи из  $C_1$ . Говорят, что расчёт  $C_1$  является подрасчётом расчёта  $C_3$ , если каждый кортеж из  $C_1$  есть кортеж в  $C_3$ , то есть если  $x_i \in C_1$ , то  $x_i \in C_3$ ;
- $\subset$  – строгое включение. **Определение 2.** Если необходимо подчеркнуть, что расчёт  $C_3$  содержит также другие кортежи, кроме кортежей из  $C_1$ , то используется операция строгого включения:  $C_3 \subset C_1$ ;
- $\not\subset$  – отрицание включения. **Определение 3.** Если  $C_1$  не является подрасчётом  $C_3$ , то  $C_1 \not\subset C_3$  обозначает, что существует кортеж расчёта  $C_1$ , который не принадлежит  $C_3$ ;
- $\in$  – принадлежность. Отношение принадлежности  $\in$  задает принадлежность кортежа  $x_i$  расчёту  $C_3$ :  $x_i \in C_3$ . Определим, что отношение включения обладает свойством транзитивности, а отношение принадлежности – нет;
- $\notin$  – непринадлежность. **Определение 4.** Операция непринадлежности является обратной к операции принадлежности, и обозначает, что кортеж  $x_i$  не присутствует в расчёте  $C_3$ :  $x_i \notin C_3$ .

*Логические операции* – это аналоги теоретико-множественных операций алгебры отношений.

**Определение 5.** Пусть даны расчёты  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$ , где  $R_1 = R_2$ . Тогда:

- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  – объединение расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 \cup C_2$ ), если  $C_3$  содержит все кортежи из  $C_1$  и все кортежи из  $C_2$ , которые не совпадают ни с одним кортежем из  $C_1$ , причём  $C_3$  не содержит никаких других кортежей;
- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  – пересечение расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 \cap C_2$ ), если  $C_3$  содержит те, и только те кортежи, которые содержатся и в  $C_1$  и  $C_2$ , причём  $C_3$  не содержит никаких других кортежей;
- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  – разность расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 \setminus C_2$ ), если  $C_3$  содержит те, и только те кортежи, которые являются кортежами  $C_1$  и не содержат не одного кортежа из  $C_2$ , причём  $C_3$  не содержит ни одного другого кортежа;
- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  называется композицией расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 \circ C_2$ ), если существует расчёт  $C_4$ , такой, который содержит некоторые кортежи из  $C_1$  и  $C_2$ , тогда расчёт



$C_3$  содержит те и только те кортежи из  $C_1$ , которые есть в  $C_4$  и те кортежи из  $C_2$ , которые содержатся в  $C_4$ , причём  $C_3$  не содержит ни одного другого кортежа;

- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  называется эквивалентным расчёту  $C_1$  ( $C_3 \sim C_1$ ), если  $C_3$  содержит те, и только те кортежи, которые являются кортежами  $C_1$ , и количество кортежей в  $C_1$  и  $C_3$ , совпадает, причём  $C_3$  не содержит ни одного другого кортежа;
- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  называться дополнением расчёта  $C_1$ , ( $C_3 = C_1^d$ ) к расчёту  $C_1^v$ , который содержит все кортежи схемы  $R_1$  системы, если  $C_3$  содержит те, и только те кортежи, которые принадлежат  $C_1^v$  и не принадлежат  $C_1$ . Операция дополнения является унарной операцией.

Необходимо доказать возможность использования теории алгебры логики для формирования условий инженерных расчётов на базе приведенных выше простых операций.

**Теорема 1.** Пусть  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда и только тогда является объединением  $C_1 \cup C_2$  расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , когда  $A_3 = A_1 \vee A_2$ .

*Доказательство.* Построим логическую таблицу действий над кортежами расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , по определению операции объединения. Таблица 1 строится для всех кортежей отношения, заданных схемой  $R_1 = R_2$ . Принцип заполнения логической таблицы основан на определении условия расчёта и определении соответствующей операции над расчётом.

Таблица 1 – Логическая таблица истинности для операции объединения расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$
В $C_1$ и $C_2$	истина	истина	истина
Только в $C_1$	истина	ложь	истина
Только в $C_2$	ложь	истина	истина
Ни в $C_1$ , ни в $C_2$	ложь	ложь	ложь

Рассмотрим принцип формирования первой строки таблицы 1. Поскольку кортеж содержится и в расчёте  $C_1$  и в расчёте  $C_2$  по определению, то условия расчёта и условия для этого кортежа расчётов  $C_1$  и  $C_2$  примут соответственно истинные значения. По определению операции объединения расчётов, такой кортеж должен быть включен в расчёт  $C_3$ , что соответствует истинному значению условия  $C_3$ . Аналогично получены остальные строки таблицы. Сопоставляя условия расчётов  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  для всех возможных значений кортежей, можно сделать вывод, что условие  $A_3$  определяется таблицей истинности, совпадающей для таблицы истинности, определяющей операцию «или» в алгебре логик.

**Теорема 2.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_4 A_4 \rangle$  тогда, и только тогда является пересечением  $C_1 \cap C_2$ , расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , когда  $A_3 = A_1 \wedge A_2$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции пересечения (таблица 2).

Таблица 2 – Логическая таблица истинности для операции пересечения расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$
В $C_1$ и $C_2$	истина	истина	истина
Только в $C_1$	истина	ложь	ложь
Только в $C_2$	ложь	истина	ложь
Ни в $C_1$ , ни в $C_2$	ложь	ложь	ложь

**Теорема 3.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда, и только тогда будет разностью  $C_1 \setminus C_2$  расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , то есть  $C_3 = C_1 \setminus C_2$ , когда  $A_3 = A_1 \wedge \neg A_2$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции разности (таблица 3).

Таблица 3 – Логическая таблица истинности для операции вычитания расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$
В $C_1$ и $C_2$	истина	истина	ложь
Только в $C_1$	истина	ложь	истина
Только в $C_2$	ложь	истина	ложь
Ни в $C_1$ , ни в $C_2$	ложь	ложь	ложь

**Теорема 4.** Предположим  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$ ,  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  и  $C_4 = \langle R_4 A_4 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда, и только тогда будет композицией  $C_1 \circ C_2$  расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , то есть  $C_3 = C_1 \circ C_2$ , когда  $A_4 \subset A_1$ ,  $A_4 \subset A_2$ , и  $A_3 \subset A_1 \wedge A_2$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции композиции (таблица 4).

**Теорема 5.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  – расчёт. Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда, и только тогда будет эквивалентным  $C_3 \sim C_1$  расчёту  $C_1$ , когда  $A_3 = A_1$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции эквивалентности (таблица 5).

**Теорема 6.** Предположим  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_1^\forall = \langle R_1, \forall \rangle$ , где  $C_1^\forall$  включает все элементы  $R_1$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$ , является дополнением  $C_3 = C_1^d$  расчёта  $C_1$  к расчёту  $C_1^\forall$  тогда, и только тогда, когда  $A_3 = \neg A_1$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции дополнения (таблица 6).

Таблица 4 – Логическая таблица истинности для операции композиции расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта			
	$C_1$	$C_2$	$C_4$	$C_3$
В $C_1$ и $C_2$ и $C_4$	истина	истина	истина	истина
В $C_1$ и $C_2$	истина	истина	ложь	ложь
Только в $C_1$ и $C_4$	истина	ложь	истина	истина
Только в $C_1$	истина	ложь	ложь	ложь
Только в $C_2$ и $C_4$	ложь	истина	истина	истина
Только в $C_2$	ложь	истина	ложь	ложь
Ни в $C_1$ , ни в $C_2$ , ни в $C_4$	ложь	ложь	ложь	ложь
Ни в $C_1$ , ни в $C_2$	ложь	ложь	ложь	ложь

Таблица 5 – Логическая таблица истинности для операции эквивалентности расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта	
	$C_1$	$C_3$
В $C_1$	истина	истина
Не в $C_1$	ложь	ложь

Таблица 6 – Логическая таблица истинности для операции дополнения расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта	
	$C_1$	$C_3$
В $C_1$	истина	истина
Не в $C_1$	ложь	ложь

#### 4.2 Сложные операции алгебры расчётов

Множество сложных операций алгебры расчётов состоит из операций: последовательного соединения, параллельного соединения, логического объединения, инверсии и совмещения. Рассмотрим каждую из операций.

*Операция параллельного соединения* -  $Z_{пр}$ , это операция, которая описывает процесс связывания расчётов в общий расчёт с помощью определенной выше простой операции, а именно операции дизъюнкции -  $\vee$ . Обобщенная схема операции представлена на рисунке 1.

На рисунке 1а показывается объединение расчётов при параллельном соединении с помощью оператора  $\vee$ , что позволяет реализовать логическое «или» при рассмотрении маршрута параллельного соединения расчётов. Рисунок 1б условно обозначает параллельное соединение множества последовательно соединенных расчётов. Таким образом, необходимо определить, как объединить расчёты сначала последовательно, потом параллельно. Предлагается для операции параллельного соединения конечного множества расчётов использовать как оператор дизъюнктивную нормальную форму  $(x_i \wedge x_j) \vee (\dots) \vee (x_k \wedge x_p)$ , где каждая элементарная конъюнкция представляет собой объединение расчётов в каждой ветке, а сама дизъюнктивная нормальная форма – форму операции параллельного соединения расчётов.

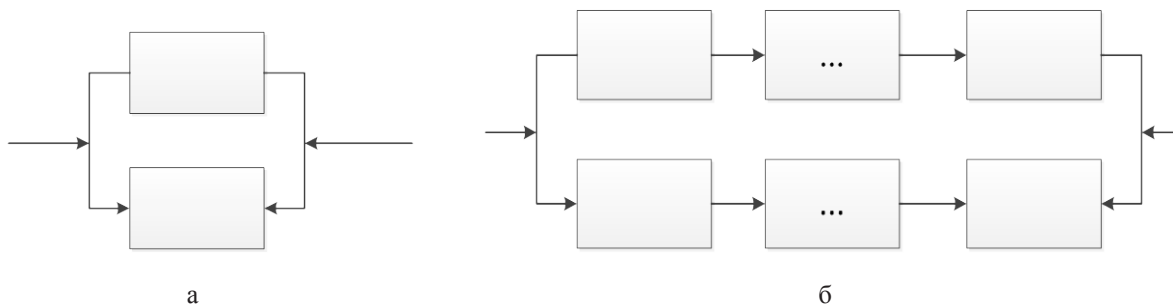


Рисунок 1 – Схема операции параллельного соединения расчётов

**Определение 6.** Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  – является результатом операции параллельного соединения расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 Z_{пр} C_2$ ); если  $x_i \in C_1$  и  $x_j \in C_2$ , то  $C_3$  определяется как  $(x_i \vee x_j)$ .

**Теорема 7.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Кортеж  $x_i$  такой, что  $x_i \in C_1$ , кортеж  $x_j$  такой, что  $x_j \in C_2$ , кортеж  $x_k$  такой, что  $x_k \in C_3$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда, и только тогда является результатом параллельного соединения  $C_3 = C_1 Z_{пр} C_2$  расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , когда  $x_k = (x_i \vee x_j)$ .

**Определение 7.** Расчёт  $C_p = \langle R_p A_p \rangle$  – является результатом операции параллельного соединения расчётов  $C_1, C_2, \dots, C_n$  ( $C_p = Z_{пр}(C_1, C_2, \dots, C_n)$ ), если  $x_i \in C_1, x_j \in C_2, \dots, x_m \in C_n$ , то  $C_p$  определяется как  $\vee(x_i \wedge x_j \wedge \dots \wedge x_m)$ .

**Теорема 8.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle, C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle, \dots, C_n = \langle R_n A_n \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ . Кортеж  $x_i$  такой, что  $x_i \in C_1$ , кортеж  $x_j$  такой, что  $x_j \in C_2, \dots$ , кортеж  $x_m$

такой, что  $x_m \in C_n$ , кортеж  $x_k$  такой, что  $x_k \in C_p$ . Расчёт  $C_p = \langle R_p A_p \rangle$  тогда, и только тогда будет результатом операции параллельного соединения  $C_p = \mathbb{Z}_{\text{пр}}(C_1, C_2, \dots, C_n)$  расчётов  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , когда  $x_k = \bigvee (x_i \wedge x_j \wedge \dots \wedge x_m)$ .

Операция последовательного соединения -  $\mathbb{Z}_{\text{пс}}$ , описывает процесс связывания расчётов в общий с помощью определенной выше простой операции конъюнкции -  $\wedge$ . Обобщенная схема операции представлена на рисунке 2.

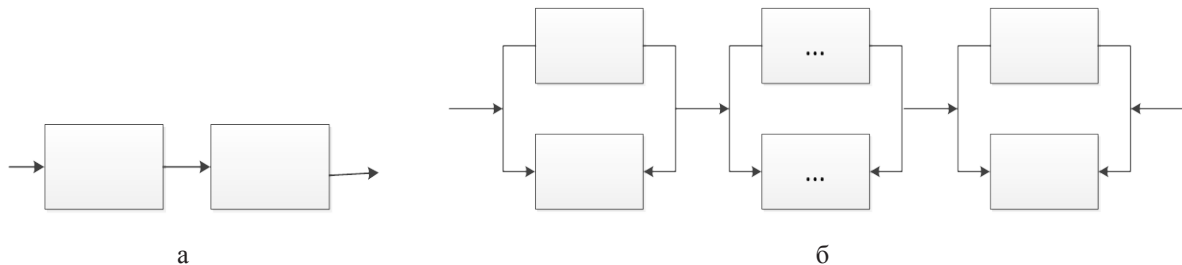


Рисунок 2 – Схема последовательного соединения расчётов

На рисунке 2а показывается объединение расчётов при последовательном соединении с помощью оператора  $\wedge$ , что позволяет реализовать логическое «и» при рассмотрении маршрута последовательного соединения расчётов. Рисунок 2б условно обозначает последовательное соединение конечного множества расчётов. Таким образом, необходимо определить, каким образом соединить расчёты сначала параллельно, а затем последовательно. Предлагается для операции последовательного соединения конечного множества параллельно соединённых расчётов использовать конъюнктивную нормальную форму  $(x_i \vee x_j) \wedge (\dots) \wedge (x_k \vee x_p)$ , где каждая элементарная дизъюнкция представляет объединения расчётов в каждый параллельный блок, а сама конъюнктивная нормальная форма – форму операции последовательного соединения расчётов.

**Определение 8.** Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  является результатом операции параллельного соединения расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 \mathbb{Z}_{\text{пс}} C_2$ ); если  $x_i \in C_1$  и  $x_j \in C_2$ , то  $C_3$  вычисляется как  $(x_i \wedge x_j)$ .

**Теорема 9.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Кортеж  $x_i$  такой, что  $x_i \in C_1$ , кортеж  $x_j$  такой, что  $x_j \in C_2$ , кортеж  $x_k$  такой, что  $x_k \in C_3$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда, и только тогда является результатом операции последовательного соединения  $C_3 = C_1 \mathbb{Z}_{\text{пс}} C_2$  расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , когда  $x_k = (x_i \wedge x_j)$ .

**Определение 9.** Расчёт  $C_p = \langle R_p A_p \rangle$  – является результатом операции последовательного соединения расчётов  $C_1, C_2, \dots, C_n$  ( $C_p = \mathbb{Z}_{\text{пс}}(C_1, C_2, \dots, C_n)$ ), если  $x_i \in C_1, x_j \in C_2, \dots, x_m \in C_n$ , то  $C_p$  вычисляется как  $\wedge(x_i \vee x_j \vee \dots \vee x_m)$ .

**Теорема 10.** Предположим  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle, C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle, \dots, C_n = \langle R_n A_n \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ . Кортеж  $x_i$  такой, что  $x_i \in C_1$ , кортеж  $x_j$  такой, что  $x_j \in C_2, \dots$ , кортеж  $x_m$  такой, что  $x_m \in C_n$ , кортеж  $x_k$  такой, что  $x_k \in C_p$ . Расчёт  $C_p = \langle R_p A_p \rangle$  тогда, и только тогда является результатом операции последовательного соединения  $C_p = \mathbb{Z}_{\text{пс}}(C_1, C_2, \dots, C_n)$  расчётов  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , когда  $x_k = \wedge(x_i \vee x_j \vee \dots \vee x_m)$ .

Операция логического соединения –  $O_{\text{п}}$  позволяет соединять расчёты, связь между которыми задана через промежуточный расчёт (рисунок 3).

Операция логического объединения позволяет объединить два расчёта при известной логической связи этих расчётов с третьим, операция  $O_{\text{п}}$  базируется на простой операции композиции (теорема 4).

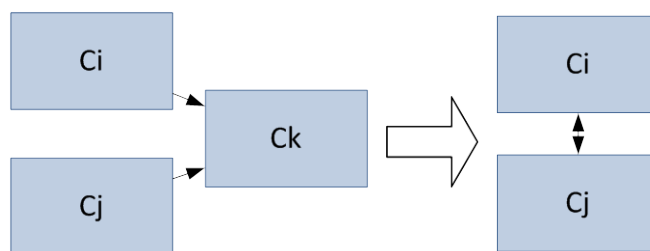


Рисунок 3 – Схематическое изображение операции логического объединения расчетов

Операция инверсии –  $O_i$  обеспечивает замену порядка расчётов на противоположный при соединении частичных расчётов в общий. Операция инверсии основывается на операторе инверсии –  $i^{-1}$  (рисунок 4).

Схема, представленная на рисунке 4а, условно обозначает последовательность частичных расчётов, которые можно менять местами при соединении в общий расчёт. Схема, представленная на рисунке 4б, условно обозначает последовательность частичных расчётов, которые при соединении в общий расчёт имеют только однонаправленную связь.

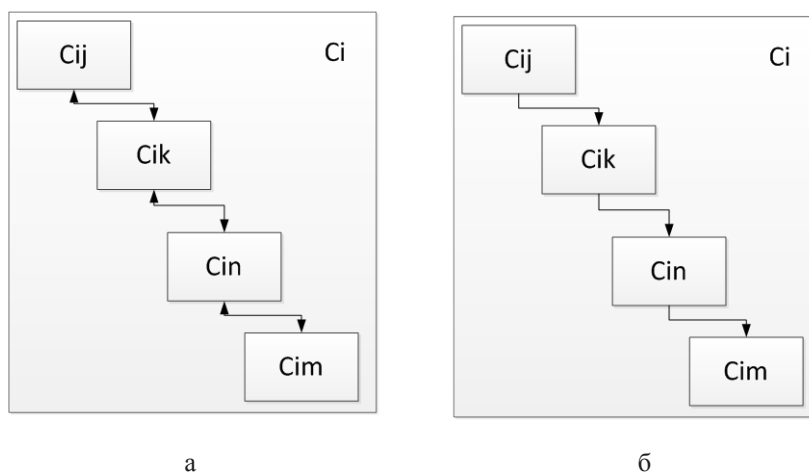


Рисунок 4 – Схематическое изображение операции инверсии расчетов

Таким образом, последовательность расчётов можно изменять только в том случае, когда данные не передаются из одного расчёта в другой или, равно, входные данные предыдущего расчёта не являются входными данными для следующего расчёта.

**Определение 10.** Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  называется инверсией расчёта  $C_1$ , ( $C_3 = C_1^{-1}$ ), если  $C_3$  содержит те, и только те кортежи, которые содержатся в  $C_1$  в обратном порядке.

**Теорема 11.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  – расчёт. Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  является инверсией расчёта  $C_1$ :  $C_3 = C_1^{-1}$ , если  $A_1(x_i, x_j) = A_3(x_j, x_i)$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции (таблица 7).

Таблица 7 – Логическая таблица истинности для операции инверсии расчетов

Наличие в расчёте	Условие расчёта		Наличие в расчёте
	$C_1$	$C_3$	
В $C_1$ (для $x_i, x_j$ )	истина	истина	В $C_3$ (для $x_j, x_i$ )
Не в $C_1$ (для $x_i, x_j$ )	ложь	ложь	В $C_3$ (для $x_j, x_i$ )



Операция совмещения –  $O_c$  позволяет соединять расчёты, связи между которыми в явном виде не существует, учитывая некоторые параметры (рисунок 5).

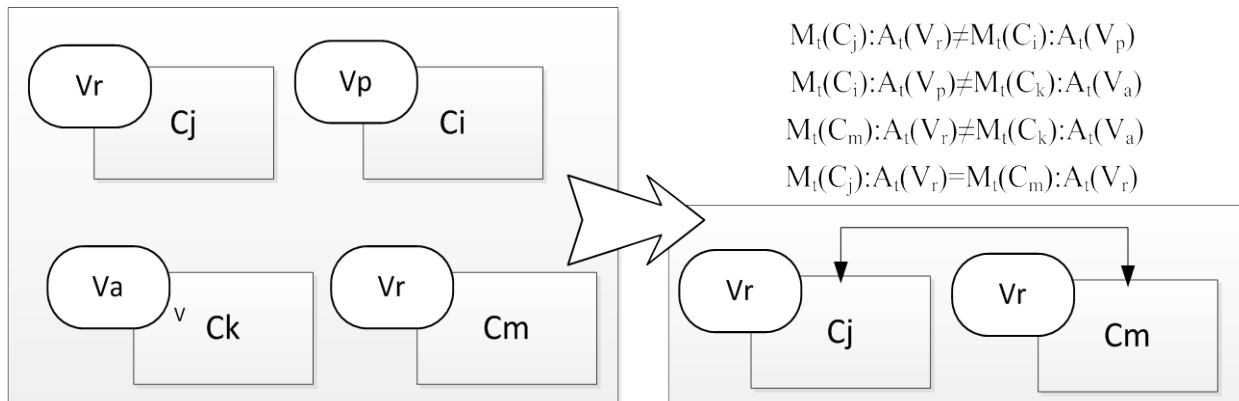


Рисунок 5 – Схематическое изображение операции совмещения расчётов

Операция совмещения позволяет выбрать из множества расчётов те, которые связаны с данным расчётом для объединения их в последовательность общего расчёта. Операция  $O_c$  базируется на сравнении значений соответствующих метаописаний расчётов, и когда значение метаописания одного расчёта совпадает со значением метаописания другого расчёта, это означает, что эти расчёты необходимо соединить в один и тот же общий расчёт:

$$\begin{cases} M_m(C_i) = M_m(C_j) \\ M_k(C_i) = M_k(C_j) \end{cases} \Rightarrow M_m(C_i) = C_j \otimes C_i$$

Опишем процесс совмещения двух расчётов на базе метаописаний:

Сравнение:  $M_l: Atr_1(C_1) = \text{“Value\_1”} \Leftrightarrow Atr_1(C_2) = \text{“Value\_1”}$

Проверка:  $\text{“Value\_1”} = \text{“Value\_1”} \Rightarrow$

Определение:

$$\Rightarrow \begin{cases} R_1 \otimes R_2 \\ R_1 \in R_2 \end{cases}$$

## 5 Пример описания инженерного расчёта в терминах формальной алгебраической системы

Приведем пример расчёта в портале инженерных знаний, используя для описания этого расчёта предложенную формальную алгебраическую систему. Для примера рассмотрим инженерный портал «Прочность материалов» и расчёт на статическую прочность.

Расчёт проводят для цилиндра, образованного внутренними ногами катушек тороидального поля, находящегося под действием бокового магнитного давления. Расчёт на устойчивость других элементов конструкций, находящихся под действием сжимающих нагрузок, проводят в соответствии с требованиями раздела 5.5 норм ПНАЕГ-7-002-86<sup>1</sup>.

Блок-схема выполнения расчёта на статическую прочность приведена на рисунке 6.

Расчёт на статическую прочность является частичным расчётом, таким образом, необходимо описать все множества метаописаний расчёта, учёт которых в дальнейшем позволит связывать его с другими в общий расчёт (таблица 8).

<sup>1</sup> Правила и нормы в атомной энергетике. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Утверждены ГК СССР по использованию атомной энергии и ГК СССР по надзору за безопасным ведением работ в атомной энергетике.

Таблица 8 - «Расчёт на статическую прочность» - Рас\_19

Стандартные метаописания				
M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
Название	Идентификатор	ПрО	Описание	Данные
Title	Identifier	Subject	Description	Data
Расчёт на статическую прочность	1	Прочность силовых элементов	Расчёт, проводящийся для ...	Int – data, formulas
Специфические метаописания				
M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>	M <sub>10</sub>
Параметры	Нагрузки	Методы оценок	Элемент	Площади измерений
Parameters	Loading	Methods	Element	Measurement area
Давление, напряжение			Цилиндрическая оболочка, корпус	Поперечное сечение, длина
Метаописания, устанавливающие связь				
M <sub>11</sub>	M <sub>12</sub>	M <sub>13</sub>	M <sub>14</sub>	
Нормативный документ	Ссылочный расчёт	Общий расчёт	Материал	
Regulatory	Computation	General computation	Material	
ПНАЭГ-7-002-86	Comp_6	Поверочный расчёт	Сталь	

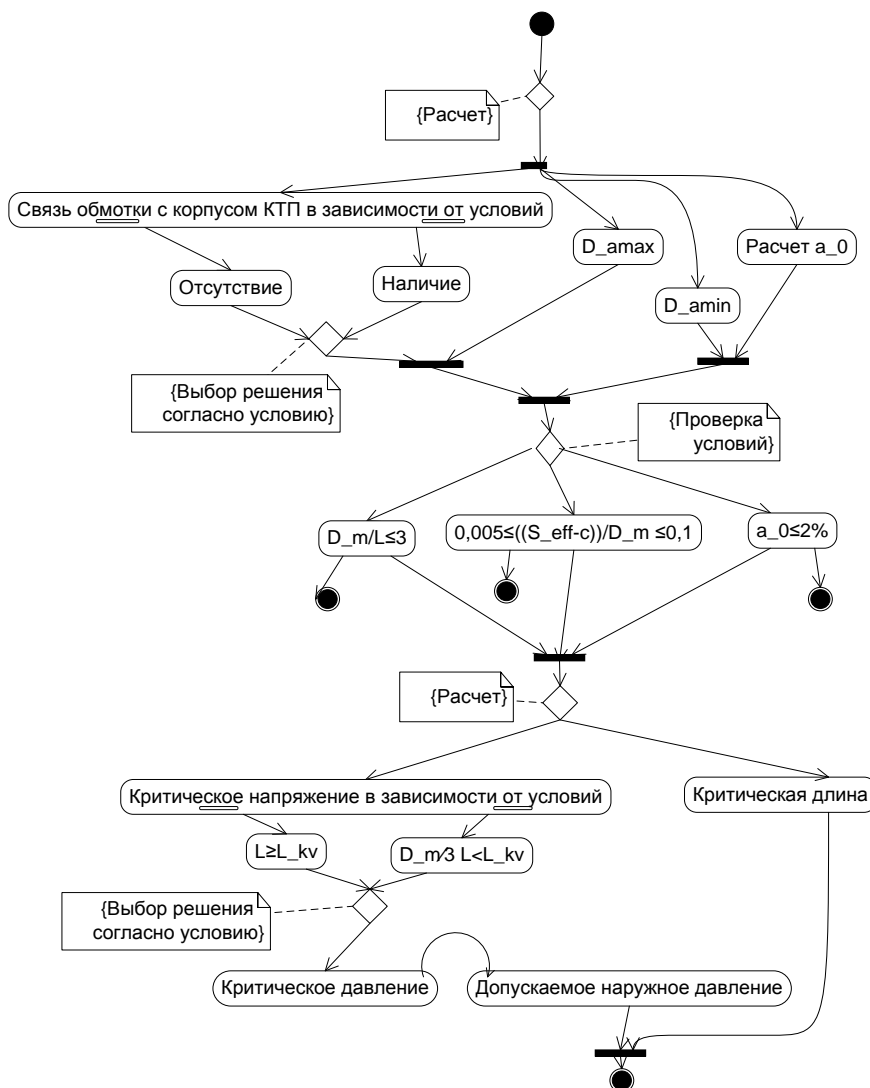


Рисунок 6 – Блок схема выполнения расчёта на статическую прочность

Таким образом, множество метаописаний расчёта на статическую прочность имеет вид:

$M_1(P_{19}): Title = \langle \text{«Расчёт на статическую прочность»}$

$M_2(P_{19}): Identifier = \langle 1 \rangle$

$M_3(P_{19}): Subject = \langle \text{«Прочность силовых элементов»}$

$M_4(P_{19}): Description = \langle \text{«Расчёт проводят для цилиндра, образованного внутренними ногами катушек тороидального поля, находящегося под действием бокового магнитного давления»}$

$M_5(P_{19}): Data = \langle \text{«data, formulas»}$

$M_6(P_{19}): Address = \langle \text{«http\calc266\19.portal.ua»}$

$M_7(P_{19}): Parameters = \langle \text{«Давление, напряжение»}$

$M_9(P_{19}): Element = \langle \text{«Цилиндрическая оболочка, корпус»}$

$M_{10}(P_{19}): Measurement\ area = \langle \text{«Поперечное сечение, длина»}$

$M_{11}(P_{19}): Regulatory = \langle \text{«ПНАЭГ-7-002-86»}$

$M_{12}(P_{19}): Computation = \langle \text{«Comp_6»}$

$M_{13}(P_{19}): Generalcomputation = \langle \text{«Поверочный расчёт»}$

$M_{14}(P_{19}): Material = \langle \text{«Сталь»}$

Для Рас\_19 используется следующее множество носителей данных:

$$DM = \langle V, F, Bv, M \rangle,$$

где

$$V = \langle a_0, D_{a_{max}}, D_{a_{min}}, S_{eff}, L_{кр}, \delta_{кр}, p_{кр}, p_a \rangle$$

$$F = \langle a_0 = 200 \left( \frac{D_{\alpha_{max}} - D_{\alpha_{min}}}{D_{\alpha_{max}} + D_{\alpha_{min}}} \right), S_{eff} = \sqrt[3]{S_1^3 + \frac{E_2}{E_1} a_1^3}, S_{eff}$$

$$= \sqrt[3]{S_1^3 + a_1^3 \frac{E_2}{E_1} + 3 \frac{E_2 a_1 S_1 (S_1 + a_1)^2}{E_1 S_1 + \frac{E_2}{E_1} + a_1}}$$

$$0,005 \leq \frac{(S_{eff}-c)}{D_m} \leq 0,1, L_{кр} = 1,2 D_m \sqrt{\frac{D_m}{S_{eff}-c}}, \delta_{кр} = 1,1 E^T \frac{S_{eff}-c}{D_m}, \delta_{кр} = 1,3 E^T \frac{D_m}{L} \left( \frac{S_{eff}-c}{D_m} \right) >$$

$$Bv = \langle 0,005 \leq x_i \leq 0,1 \rangle$$

$$M = \langle M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_9, M_{10}, M_{11}, M_{12}, M_{13}, M_{14} \rangle$$

При выполнении Рас\_19 используется набор простых операций алгебры расчётов:

$$\Omega = \{+, *, \subseteq, \subset, \not\subset, \in, \notin, \wedge, \vee, \setminus\}.$$

Такие операции задействованы при использовании данных из баз и хранилищ портала. Данные определяют характеристики и параметры материала или конструкции, которые необходимы для выполнения расчёта.

Рисунок 7 является модификацией рисунка 6 с добавлением блоков расчёта, которые соединены соответствующими операциями  $Z_{nc}$  и  $Z_{np}$ .

Как видно на рисунке 7, операции параллельного и последовательного соединения используются для Рас\_19 при объединении соответствующих блоков:

$$C_{19.a} = \langle C_{19.1} Z_{np} C_{19.2} \rangle$$

$$C_{19.b} = \langle C_{19.a} Z_{nc} C_{19.3} \rangle$$

$$C_{19.c} = \langle C_{19.4} Z_{np} C_{19.5} \rangle$$

$$C_{19} = \langle C_{19.b} Z_{nc} C_{19.c} Z_{nc} C_{19.6} \rangle$$

Изменение порядка операций (шагов) или этапов в Рас\_19 приведет к неправильному ответу, что делает невозможным использование операции инверсии для данного расчёта.

Предположим, даны расчёты «Расчёт на статическую прочность» и множество частичных расчётов портала. Необходимо найти, какой именно частичный расчёт связан с данными, и определить к какому общему расчёту они относятся. Для решения данной задачи пред-

лагается использовать операцию  $O_c$ . Проанализировав метаописания расчётов, определим, что метаописания  $M_7, M_9, M_{11}$  и  $M_{14}$  Рас\_19:

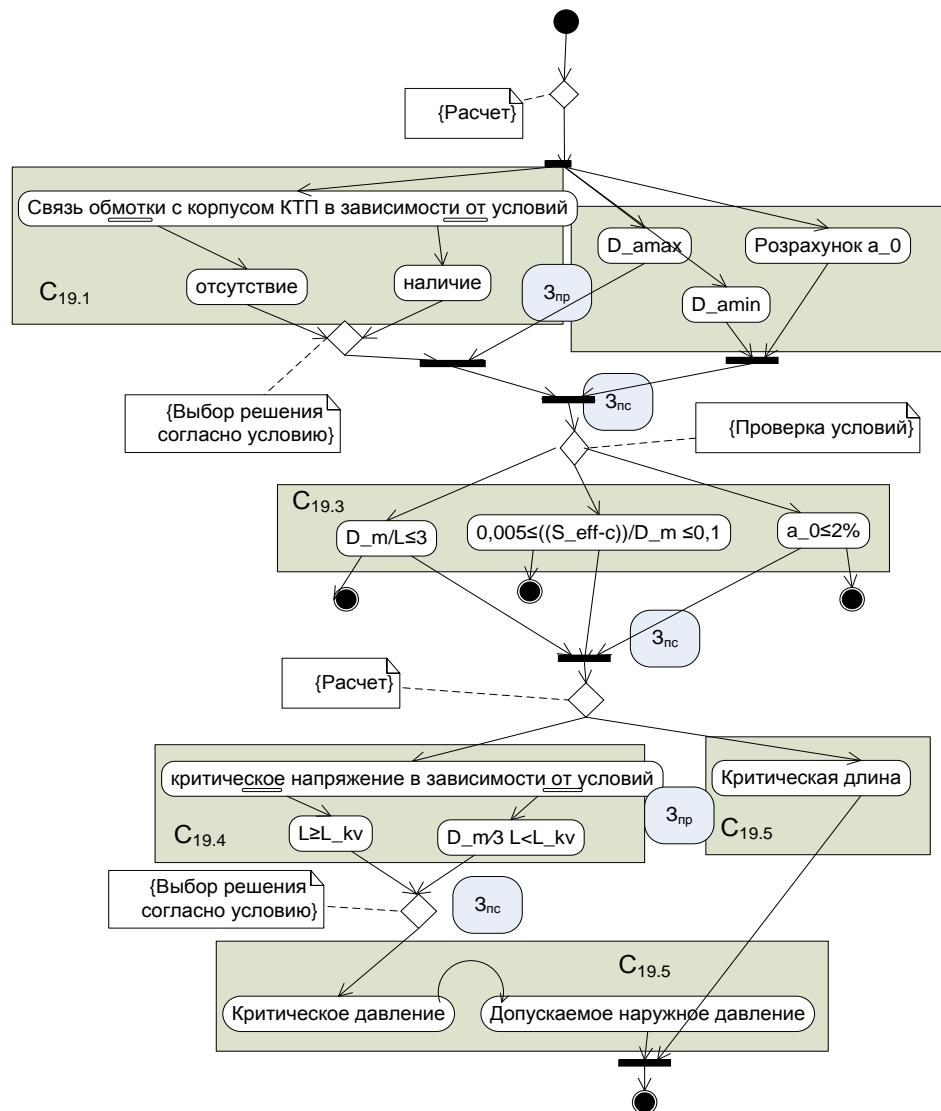


Рисунок 7 – Блок схема расчёта на устойчивость с операциями, которые их объединяют

$M_7 (P_{19})$ : Parameters = «Давление, напряжение»

$M_9 (P_{19})$ : Element = «Цилиндрическая оболочка, корпус»

$M_{11} (P_{19})$ : Regulatory = «ПНАЭГ-7-002-86»

$M_{14} (P_{19})$ : Material = «Сталь»

совпадают по значению с метаописаниями  $M_7, M_9, M_{11}$ , и  $M_{14}$  Рас\_24:

$M_7 (P_{24})$ : Parameters = «Давление, напряжение»

$M_9 (P_{24})$ : Element = «Цилиндрическая оболочка, корпус»

$M_{11} (P_{24})$ : Regulatory = «ПНАЭГ-7-002-86»

$M_{14} (P_{24})$ : Material = «Сталь»

где Рас\_24 – расчёт на устойчивость:

$$\begin{cases} M_7(C_{19}) = M_7(C_{24}) \\ M_k(C_i) = M_k(C_j) \end{cases} \Rightarrow M_7(C_i) = C_{19} \otimes C_{24}$$

Таким образом, частичный расчёт «Расчёт на статическую прочность» и частичный расчёт «Расчёт на устойчивость» связаны между собой по определению операции  $O_c$ :

$$C_k = \langle C_{19}O_cC_{24} \rangle.$$

В общий расчёт  $C_i$  будут входить:

$$C_i = \langle \dots, C_{19.1}Z_{np}C_{19.2} C_{19.a}Z_{nc} C_{19.3} C_{19.4}Z_{np}C_{19.5} C_{19.6}Z_{nc} C_{19.6} Z_{nc} C_{19.6}C_{19}O_cC_{24} \rangle.$$

Предложенная формальная алгебраическая система расчётов положена в основу технологии разработки инженерных порталов знаний, что позволило реализовать динамическое формирование сложной расчётной задачи из частичных расчётов.

## Заключение

В статье представлен подход к проектированию последовательности выполнения расчётных задач на инженерных порталах знаний при динамическом формировании сложных инженерных расчётов.

Предложена алгебра расчётов, которая позволяет получить требуемый общий расчёт в результате выполнения определенной системы алгебраических формализмов и динамически сформировать последовательность выполнения частных расчётов. Алгебра формализмов для расчётов портала знаний представляется множеством операций заданного вида на хранимом наборе информационных и вычислительных ресурсов портала.

## Список источников

- [1] *Levy, A.Y.* Logic-Based Techniques in Data Integration. Logic-based Techniques in Data Integration / A.Y. Levy // Logic Based Artificial Intelligence, Ed.: J. Minker. - Dordrecht, Netherlands: Kluwer Publishers, 2000.
- [2] *Загоруйко, Ю.А.* О формализации семантики областей знаний в информационных и интеллектуальных системах на основе онтологий / Ю.А. Загоруйко, Г.Б. Загоруйко // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2014): Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2014. – С. 117-130.
- [3] *Загоруйко, Ю.А.* Технология построения порталов научных знаний: опыт применения, проблемы и перспективы / Ю.А. Загоруйко // Материалы 21-й международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Крымико' 2011) - Севастополь: Вебер, 2011. – С.51-54.
- [4] *Гаврилова, Т.А.* Базы знаний интеллектуальных систем. / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. — СПб.: Питер, 2000. - 384 с.
- [5] *Колб, Д.Г.* Интеллектуальные системы для сети Internet на основе семантически структурированных гипертекстов / Д.Г. Колб // Известия ВолГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: межвуз. сб. науч. ст. – 2011. – Т. 11, вып. 12. – С. 60–63.
- [6] *Globa, L.* Method of heterogeneous information resources structuring and systematizing for Internet portals development / L. Globa, R. Novogrudska, O. Oriekhov // IEEE, EuroCon 2013, (1-4 July 2013, Zagreb, Croatia). - P. 319-326.
- [7] *Глоба, Л.С.* Модель представления знаний на специализированном Интернет-портале в области сопротивления материалов / Л.С. Глоба, Р.Л. Новогрудская // Системні дослідження та інформаційні технології. - 2012. - №2. - С. 42-48.
- [8] *Теленик, С.Ф.* Каталогизация и интеграция разнородных информационных ресурсов / С.Ф. Теленик, С.В. Жук, В.Т. Лыско, К.В. Ефремов // Молодой ученый. № 5, 2013. — С. 176 - 179.
- [9] *Зуенко, А.А.* Интеллектуальные обучающие системы на основе алгебраического представления вопросно-ответных текстов / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2013): материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2013. – С. 165-170.
- [10] *Павлов, А.А.* Информационные технологии и алгоритмизация в управлении / А.А. Павлов, С.Ф. Теленик. – К.: Техніка, 2002. – 344 с.
- [11] *Такеути, Г.* Теория доказательств / Г. Такеути. – М.: Мир, 1978. – 412 с.
- [12] *Спирина, М.С.* Дискретная математика / М.С. Спирина, П.А. Спирин. – М.: Академия, 2004. - 368 с.



- [13] *Шаховська, Н. Б.* Формальне подання простору даних у вигляді алгебраїчної системи / Н. Б. Шаховська // Системні дослідження та інформаційні технології = System research & information technologies: міжнародний науково-технічний журнал / Національна академія наук України, Інститут прикладного системного аналізу. – 2011. – № 2. – С. 128–140.
- 

## APPROACH TO FORMAL ALGEBRAIC SYSTEM OF KNOWLEDGE PORTAL DESIGNING

Larysa Globa, Rina Novogrudska

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kiev, Ukraine

lgloba@its.kpi.ua

**Abstract.** The paper presents an approach to the design of computational tasks of engineering knowledge portals, based on a formal algebraic system that allows to obtain the required general calculation as the result of a certain system of algebraic formalisms. The aim of a work is improving of the efficiency of processing, storage and access to information and computation resources of the specialized engineering knowledge Internet portals through the systematization of complex weak-binding heterogeneous information by constructing a formal algebraic system of knowledge portals. Main tasks are knowledge formalization for representation of context-independent structures that allow to operate with information that is represented on knowledge portals regardless from subject domain; development of mathematical model of engineering knowledge portal; integration of computation resources into the information portal space by unification and formalization of computation tasks linking elements; the development of complex engineering tasks organization method. Algebra of calculations describes the sequence of partial calculations that are united in general calculation. Formal algebra of knowledge portal is represented by the set of operations of a given form to a stored set of portal information and computing resources.

**Key words:** *knowledge portal, algebra of calculations, calculation task, engineering portal, information elements, functional elements, operations.*

### References

- [1] *Levy, A.Y.* Logic-Based Techniques in Data Integration. Logic-based Techniques in Data Integration / A.Y. Levy // Logic Based Artificial Intelligence, Ed.: J. Minker. - Dordrecht, Netherlands: Kluwer Publishers, 2000.
- [2] *Zagorulko, Yu. A.* O formalizatsii semantiki oblastej znaniy v informatsionnykh i intellektual'nykh sistemakh na osnove ontologij [About the semantics of the knowledge domain formalization in the informational and intellectual systems based on ontologies] Yu. A. Zagorulko, G.B. Zagorulko // Proceedings of OSTIS-2014 international conference on open semantic technologies for the intelligent systems design. Minsk, 2014. – pp. 117-130. (In Russian)
- [3] *Zagorulko, Yu. A.* O formalizatsii semantiki oblastej znaniy v informatsionnykh i intellektual'nykh sistemakh na osnove ontologij [About the semantics of the knowledge domain formalization in the informational and intellectual systems based on ontologies] Yu. A. Zagorulko// Proceedings of 21<sup>st</sup> international conference in Crimea "Micro-wave & Telecommunication Technology". Sevastopol: Weber, 2011. – pp. 51-54. (In Russian)
- [4] *Gavrilova T.A.* Bazy znaniy intellektual'nykh sistem [Knowledge bases of intellectual systems] / T.A. Gavrilova, V.F. KHoroshevskij. // — saint-Petersburg: Piter, 2000. - 384 p. (In Russian)
- [5] *Kolb, D.G.* Intellektual'nye sistemy dlya seti Internet na osnove semanticheski strukturirovannykh gipertekstov [Intellectual systems for the Internet, based on the semantically structured hypertext] / D.G. Kolb // Izvestiya VolgGTU. Seriya «Aktual'nye problemy upravleniya, vychislitel'noj tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh» interuniversity scientific journal – 2011. – Vol. 11, issue. 12. – pp. 60–63. (In Russian)
- [6] *Globa, L.* Method of heterogeneous information resources structuring and systematizing for Internet portals development / L. Globa, R. Novogrudska, O. Oriekhov // IEEE, EuroCon 2013, (1-4 July 2013, Zagreb, Croatia). - P. 319-326. (In Russian)
- [7] *Globa, L.* Model' predstavleniya znaniy na spetsializirovannom Internet-portale v oblasti soprotivleniya materialov [Model of knowledge representation on a specified Internet-portal for the strength of materials domain] / L. Globa, R. Novogrudska // Sistemni doslidzhennya ta informatsijni tekhnologii. - 2012. – Issue 2. - pp. 42-48. (In Ukrainian)

- [8] *Telenik, S.F.* Katalogizatsiya i integratsiya raznorodnykh informatsionnykh resursov [Catalogization and integration of diverse informational resources] / S.F. Telenik, S.V. ZHuk, V.T. Lysko, K.V. Efremov // *Molodoy ucheny.* — 2013. — Issue 5. — С. 176—179. (In Russian)
- [9] *Zuenko, A.A.* Intel'ektual'nye obuchayushhie sistemy na osnove algebraicheskogo predstavleniya voprosno-otvetnykh tekstov [Intelligent tutoring systems based on the algebraic representation of question-answer texts] / A.A. Zyenko, B.A. Kulik, A.Ya. Fridman // *Proceedings of OSTIS-2014 international conference on open semantic technologies for the intelligent systems design.* Minsk, 2013. — pp. 165-170. (In Russian)
- [10] *Pavlov, A.A.* Informatsionnye tekhnologii i algoritimizatsiya v upravlenii [Informational technologies and algorithmization in management] / A.A. Pavlov, S.F. Telenik. — Kiev: Technika, 2002. — 344 p. (In Russian)
- [11] *Takeuti, G.* Teoriya dokazatel'stv [Proof theory] / G. Takeuti. — Moscow: Mir, 1978. — 412 p. (In Russian)
- [12] *Spirina, M.S.* Diskretnaya matematika [Discrete mathematics] / M.S. Spirina, P.A. Spirin. — Moscow: Akademiya, 2004. — 368 p. (In Russian)
- [13] *Shakhov's'ka, N. B.* Formal'ne podannya prostoru danikh u viglyadi algebraichnoï sistemi [Formal presentation of data space as an algebraic system] / N. B. Shakhov's'ka // *System research & information technologies: international scientific journal / Ukraine academy of science, institute of applied system analysis.* — 2011. — Issue 2. — pp. 128–140. (In Ukrainian)

### Сведения об авторах



**Глоба Лариса Сергеевна.** Окончила Харьковский авиационный институт в 1978 г., к.т.н. (1984), д.т.н. (1996), проф. с 2001 г., с 2012 г. — академик Международной Академии информационных технологий (Минск, Белоруссия). Зав. кафедрой информационно-телекоммуникационных систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Сфера научных интересов: разработка интеллектуальных корпоративных систем производства и систем управления, распределенные системы, технологии Web-сервисов. В списке научных трудов около 400 работ, среди которых учебники и учебные пособия.

**Globa Larysa Sergiivna.** Graduated from Kharkov Aviation Institute in 1978, Ph.D., from 1984, Doctor of Technical Sciences from 1996, Prof. from 2001, academician of the International Academy of Information Technology (Minsk, Belorussia) from 2012. The head of the chair of Information and Telecommunication Systems of National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute". Research interests: development of intelligent enterprise production and management systems, distributed systems, Web-services technology. She is co-author of about 400 scientific works, a significant number of works issued abroad.



**Новогрудская Рина Леонидовна,** 1986 г. рождения. Окончила Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» в 2009 г. по специальности «Компьютерные науки». Аспирант, ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных сетей НТУУ «КПИ». Сферы научных интересов: системы искусственного интеллекта, представление знаний, системный анализ и системное проектирование. В списке научных трудов около 40 работ в сфере проектирования порталов, разработки интеллектуальных систем, разработки моделей и методов представления знаний.

**Novogrudskaya Rina Leonidovna** (b.1986) graduated National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" in 2009. Ph.D. student, assistant professor at the department of Information and Telecommunication Systems. Research interests: artificial intelligence, knowledge representation, system analysis and system design. She is the co-author of more than 40 publications in the field of portal designing, intelligent systems development, models and methods of knowledge representation designing.