

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПРИКЛАДНАЯ АЛГЕБРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕПОЧЕК ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСЕЙ

Селиванов Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет», Рязань, Россия (390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1), e-mail: sevdeveloper@gmail.com

В статье ставится задача разработки базовой части универсальной прикладной алгебры технологических цепочек для приготовления смесей. Новый математический формализм представляет качественно новый подход к решению проблемы поиска оптимальных смесей. Он направлен на создание основы для разработки новых эффективных интеллектуальных программных средств расчёта, основанных на базах знаний. Полученная прикладная алгебра оперирует такими понятиями как характеристика вещества, компонентное вещество, технологическая ситуация, технологическая цепочка или технологический процесс; определяет операции последовательной и параллельной композиции веществ и материалов. Структуры признаков, используемые для описания внутренней характеристической структуры компонентов смеси, позволяют использовать полученный математический формализм для широкого круга веществ и сложных композитных материалов. Прикладная алгебра имеет потенциал для развития, ввода новых понятий и отношений, что делает её перспективным инструментом для решения практических задач поиска рецептов оптимальных композитных смесей.

Ключевые слова: алгебра, смесь, композиция, компоненты, оптимизация, задача, технологический процесс.

## UNIVERSAL APPLIED ALGEBRA OF TECHNOLOGICAL CHAINS FOR PREPARING THE MIXTURES

Selivanov E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia (390005, Ryazan, Gagarina street, 59/1), e-mail: sevdeveloper@gmail.com

This article seeks to develop a basic part of the universal applied algebra of technological chains for the preparation of mixtures. A new mathematical formalism represents a new approach to solving the problem of finding the optimal mixtures. It aims to create a framework for the development of new efficient intelligent calculation software based on knowledge bases. The resulting applied algebra operates with such concepts as the characteristic of the substance, component material, technological situation, process chain or manufacturing process; determines the sequential and parallel composition of substances and materials. The structures of attributes that are used to describe the internal structure of the components characteristic of the mixture is allowed to use the resulting mathematical formalism for a wide range of materials and complex composite materials. Applied algebra has potential for development, the introduction of new concepts and relationships, which makes it a promising tool for solving practical blending problems.

Key words: algebra, blend, composition, components, optimization, problem, technological process.

Задачи поиска оптимальной смеси широко распространены и ставятся в самых различных областях производства. Способ их решения сегодня сводится к решению задачи математического программирования одним из известных математических методов, например: «симплекс-метод», «метод ветвей и границ» и прочие производные методы. За последние десятилетия существенного прогресса в области оптимизации смесей не происходило, совершенствовались лишь математические методы решения. Все они имеют схожие недостатки и ограничения, что заставляет нас критически взглянуть на проблему оптимизации смесей, искать качественно новый подход к её решению.

Существующие на данный момент стандартные математические постановки задачи о смесях и методы её решения представляют процесс поиска в терминах целевой функции, ограничений и списка компонентов на выходе. При этом особенности технологического процесса получения смеси не учитываются. Фактически сегодня способ поиска оптимальной смеси – это усовершенствованный перебор сочетаний исходных компонентов.

Однако, именно технологический процесс – это основа производства смеси, и конечный продукт всецело зависит от его особенностей. Оборудование, температура в производственном помещении, время взаимодействия компонентов смеси, последовательность технологических операций – лишь некоторые факторы, при изменении которых из одинакового набора исходных компонентов может быть получен продукт совершенно разного качества. Таким образом, для проблемы поиска оптимальной смеси нужен качественно новый математический формализм, позволяющий представить решение в терминах цепочек технологических ситуаций, составляющих единый технологический процесс или рецепт.

*Цель настоящей работы* – составление ядра прикладной алгебры технологических цепочек для формализации процесса приготовления смесей.

Составление нового математического формализма направлено на создание основы для разработки новых эффективных программных средств расчёта. Таким образом, полученная прикладная алгебра должна иметь потенциал для применения в интеллектуальных автоматизированных системах поиска оптимальных технологических цепочек исходя из знаний, заложенных технологом в систему.

### **Постановка задачи синтеза технологического процесса получения смесей**

Каждый этап технологического процесса характеризуется исходными для этого этапа компонентными веществами, и результирующими веществами. И те и другие имеют множество характеристик, позволяющих идентифицировать материал по качественным и количественным показателям [6].

Исходя из этого, общую задачу синтеза технологического процесса получения смесей с заданными свойствами можно сформулировать следующим образом.

Для заданных исходных компонентных материалов и их характеристик; известных заключительных материалов и их характеристик, а также множества решений «→» получить технологическую цепочку «φ» позволяющую реализовать все составляющие ее процессы (шаги) в условиях конкретного производства:

$$\varphi : \langle Cs_1, Pr_1 \rangle \rightarrow \langle Cs_2, Pr_2 \rangle \rightarrow \dots \rightarrow \langle Cs_{r-1}, Pr_{r-1} \rangle \rightarrow \langle Cs_r, Pr_r \rangle, \quad (1)$$

где  $Cs = \{c_1, c_i, \dots, c_n\}$  – конечное множество компонентных веществ и их соединений;  
 $Pr = \{p_1, p_j, \dots, p_k\}$  – конечное множество свойств веществ;  $\langle\langle Cs_i, Pr_j \rangle\rangle$  – пара определенных ранее подмножеств компонентных веществ и их характеристик соответственно;  $\langle\rightarrow\rangle$  – отношение строгого предшествования [1, 4].

### Описание внутренней характеристической структуры компонентных веществ

Для описания внутренней характеристической структуры веществ и их соединений целесообразно использовать структуры признаков [8]. Структуры признаков – это математический формализм, объединяющий основы реляционного, фреймового и логического подходов в рамках механизма иерархически вложенных кортежей [7].

Признаковую структуру  $c_j \in Cs$  для описания компонентных веществ можно представить как кортеж неопределенной местности с поименованными элементами:

$$c_j = (N_1 : Pr_1, N_2 : Pr_2, \dots, N_n : Pr_n), \quad (2)$$

где  $N_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) – имя из универсума имен элементов  $N$ , а  $Pr_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) – значение из множества возможных значений  $Prn_i$ . Признаковые структуры могут быть вложенными друг в друга.

В качестве примера можно привести описание некоторых химических веществ с определенными свойствами. Пусть, например, множество имен  $N$  задано следующим описанием:

$$N = \{\text{“Name”}, \text{“pH”}, \text{“Amount”}, \text{“Unit”}\},$$

для каждого из имен задана точная область значений, например, для Name, pH и Unit соответственно:

$$Pr_{Name} = \{\text{“Соляная кислота”}, \text{“Едкий натр”}, \text{“Соль пищевая”}, \text{“Вода”}\};$$

$$Pr_{pH} = \{0, \dots, 50\};$$

$$Pr_{Unit} = \{\text{“Миллиграммы”}, \text{“Граммы”}\}.$$

Тогда компонентное вещество ”Соляная кислота” можно описать следующей признаковой структурой  $c_1$ :

$$c_1 \{\text{Name: Соляная кислота; pH: 4; Amount: 45; Unit: Граммы}\}. \quad (3)$$

Структуру ”Едкий натр” можно описать так:

$$c_2 \{\text{Name: Едкий натр; pH: 9; Amount: 450; Unit: Граммы}\}. \quad (4)$$

### Операции алгебры технологических цепочек приготовления смесей

Механизм образования нового компонентного вещества представляет собой семантику операции композиции исходных компонентных веществ.

Семантика учитывает следующие факторы:

- исходные вещества, временная последовательность их соединения,
- условия соединения (температура, пропорция и т.п.),
- результирующие вещества.

Схемы зависимостей характеристик качества результирующего продукта от характеристик исходных компонентов разделяются на два подмножества:

- экспертные схемы зависимостей;
- точные формулы зависимостей.

Схема зависимостей представляет собой граф состояний, связанных между собой дугами переходов из одного состояния в другое и образующих варианты последовательной и параллельной композиций. Каждое состояние описывается кортежем, который задается как конечное множество признаков структур, каждая из которых содержит произвольное число неупорядоченных, но обязательно поименованных элементов.

Если на множестве всех признаков структур ввести операцию их композиции « $\circ$ » [5], имеющей сложную семантику [2], описанную специальным алгоритмом взаимодействия и смешивания материалов и веществ, то можно считать, что приведенные в предыдущих примерах (3) – (4) признаковые структуры могут быть элементами следующего равенства:

$$c_3 = c_1 \circ c_2 . \quad (5)$$

Фактически, рассмотренная операция последовательной композиции позволяет формировать из элементов множества  $C_s$  технологические последовательности, рассмотренные ранее:

$$\varphi : \langle Cs_1 \rangle \rightarrow \langle Cs_2 \rangle \rightarrow \dots \rightarrow \langle Cs_{r-1} \rangle \rightarrow \langle Cs_r \rangle . \quad (6)$$

Здесь множество  $Pr_i$  ( $i = 1, \dots, r$ ) можно опустить, поскольку свойства веществ уже учтены в признаковых структурах  $Cs_i$  ( $i = 1, \dots, r$ ).

В случае с использованием признаковых структур появляется возможность определять семантику операций взаимодействия веществ и материалов, а следовательно, автоматически получать результат операции в форме множества новых признаковых структур.

Если в семантику операции композиции « $\circ$ » добавить правило взаимодействия кислот и щелочей, то можно получить более сложное равенство, отражающее преобразования исходных компонентов (3) – (4) и их свойств после смешивания по определённой технологии:

$$c_3 = c_1 \circ c_2 = \{ \{ \text{Name: Соль пищевая; pH: 7; Amount: 73751; Unit: Миллиграммы} \}; \\ \{ \text{Name Вода; pH: 7; Amount: 271258; Unit: Миллиграммы} \} \} .$$

Рассмотренная операция композиции « $\circ$ » является последовательной и хорошо иллюстрируется цепочкой (6). Под последовательной композицией понимается выполнение одной операции после завершения другой. Однако реальные производственные процессы могут идти не только последовательно, но и параллельно – по два и более одновременно. Учитывая это обстоятельство, введём операцию параллельной композиции и обозначим её символом « $\oplus$ ».

Таким образом, схема зависимостей более точно представляет собой не простейшую цепочку (6), а сеть или ориентированный и направленный граф [9] технологических состояний.

### Алгебра технологических цепочек приготовления смесей

Прикладной универсальной алгеброй смеси веществ и материалов является система множеств:

$$\langle Cs, \Omega \rangle, \quad (7)$$

где  $\Omega = \{\circ, \oplus\}$  – множество операций, замкнутых на области определения  $Cs$  и называемых сигнатурой алгебры [3]. В предложенную алгебру можно ввести нулевую константу « $\emptyset$ », как полное отсутствие каких-либо материалов и компонентных веществ.

Таким образом, тип алгебры [3] можно записать следующим образом:

$$\{\emptyset(0), \circ(2), \oplus(2)\}, \quad (8)$$

где (0) и (2) – местность отношений. Так, например, константа « $\emptyset$ » имеет нулевую местность и не требует никаких аргументов. В множество операций она включается как постоянная операция без аргументов.

Для того чтобы улучшить поиск технологических закономерностей при составлении смесей, определим базовые свойства операций (таблица): идемпотентность, коммутативность, ассоциативность, дистрибутивность [4].

**Свойства операций прикладной алгебры технологических цепочек**

Операция	Отсутствие или наличие свойства			
	идемпотентность	коммутативность	ассоциативность	дистрибутивность
$\circ$	–	–	–	+
$\oplus$	+	+	+	+

### Заключение

Составленное ядро прикладной алгебры технологических цепочек формализует ключевые особенности процесса приготовления смесей и является хорошей основой для построения автоматизированных программных средств расчёта. Структуры признаков, использующиеся для описания внутренней характеристической структуры компонентов смеси позволяют использовать полученный математический формализм для широкого круга

веществ и сложных композитных материалов. Однако для полноты математического формализма полученную прикладную алгебру целесообразно было бы дополнить набором отношений, получив, таким образом, полноценную алгебраическую систему [4]. Ввод набора отношений на множестве компонентных веществ позволит существенно расширить и автоматизировать исследование свойств веществ, а также производить сравнение веществ между собой на основании какого-либо критерия.

В заключение нужно отметить, что цель, поставленная в данной работе – достигнута. Полученная прикладная алгебра технологических цепочек формализует такие ключевые понятия как: характеристика вещества, компонентное вещество, технологическая ситуация, технологическая цепочка или технологический процесс; определяет операции последовательной и параллельной композиции веществ и материалов. Эти понятия составляют основу нового подхода к проблеме поиска оптимальных смесей и определяют его на концептуальном уровне. При этом составленная алгебра имеет потенциал для развития, ввода новых понятий и отношений, что делает её перспективным инструментом для решения практических задач поиска рецептов оптимальных композитных смесей.

### Список литературы

1. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Том 2. Компиляция. – М.: Мир, 1978. – 487 с.
2. Каширин И.Ю., Коричнев Л.П. Формальное исследование интеллектуальных программных систем. – М.: Радио и связь, 1997. – 160 с.
3. Каширин И.Ю., Маликова Л.В., Маркова В.В. Основы формальных систем // Учебное пособие / под ред. Каширина И.Ю. М.: Минобразования России, НИЦПрИС, 1999. – 84 с.
4. Куратовский К., Мостовский А. Теория множеств. – М.: Мир, 1970. – 416 с.
5. Салий В.Н. Универсальная алгебра и автоматы // Учебное пособие / под ред. Салия В.Н. Саратовский государственный университет, 1988. – 73 стр.
6. Селиванов Е.В. Обобщённое представление технологических процессов в программном обеспечении // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань: РГРТУ, 2014. – 268 с.
7. Четыркин Е.М. Финансовая математика. – М.: «Дело», 2005. – 400 с.
8. Knight K. Unification: A Multidisciplinary Survey. – ACM Computing Surveys, 1989. – V.21. – N 1. – pp. 93-124.

9. Milind G., Polychronopoulos C.D. The hierarchical task graph as a universal intermediate representation. – Int. J. Parall. Programm., v.22, 1994. – N5. – pp. 519-551.

**Рецензенты:**

Каширин И.Ю., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО "РГРТУ", г. Рязань;

Пылькин А.Н., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО "РГРТУ", г. Рязань.