



## ФОРМАЛИЗАЦИЯ УФО-ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО АППАРАТА ПИ-ИСЧИСЛЕНИЯ

**С.И. МАТОРИН**  
**М.В. МИХЕЛЕВ**

*Белгородский  
государственный  
университет*

*e-mail: matorin@bsu.edu.ru*

Обсуждается возможность математического описания визуальных графоаналитических моделей с помощью алгебраического аппарата «пи-исчисления» Р. Милнера на примере моделей процессов в виде триединой конструкции «Узел-Функция-Объект» (УФО).

Ключевые слова: визуальное графоаналитическое моделирование, УФО, пи-исчисление, бизнес-процесс.

### Введение

Сложность процесса проектирования современных информационных программных систем (ИС), а также большая ответственность за их результаты, в частности, в области систем управления, и слабая формализованность используемых средств и методов делают актуальным проведение исследований и разработок в области совершенствования средств и методов проектирования ИС. Одним из самых слабоформализованных этапов проектирования ИС является этап моделирования процессов, для автоматизации которых данная ИС и проектируется. При этом в настоящее время стремительное развитие компьютерных технологий привело к значительному разрыву между быстро прогрессирующими способами практического анализа, визуального графического моделирования и проектирования сложных систем и медленно развивающимися методами их математического описания.

Например, известные визуальные графоаналитические способы системно-структурного (DFD, IDEF и т.п.), а также объектного (UML) моделирования бизнес-систем и бизнес-процессов, хотя и причисляются к числу формализованных, не дают возможности точно оценить, насколько построенная модель системы соответствует выбранной спецификации (требованиям), т.е. не обеспечивают возможность формальной верификации модели. Кроме того, они также не позволяют оценить, насколько текущая модель системы минимальна и не имеет недостижимых состояний.

Следовательно, целесообразно искать графоаналитические и математические средства, которые обеспечивали бы действительно формальное (математическое) описание визуальных компьютерных моделей и позволяли бы, таким образом, решать задачи верификации, минимизации и эквивалентности таких моделей. Как известно, без визуальных графоаналитических моделей не обходится ни один серьезный проект по созданию программного обеспечения, что зафиксировано в международном стандарте ИСО12207 («Жизненный цикл программного обеспечения»).

Авторами предлагается использовать для решения данной задачи оригинальный системно-объектный подход (УФО-подход [1-2]) для визуального графоаналитического описания моделей и алгебраический аппарат ПИ-исчисления [3] для формального их описания.

Визуальные графоаналитические модели в терминах «Узел-Функция-Объект» выбраны как в достаточной степени универсальные и обладающие рядом преимуществ, а также в связи с наличием опыта формализации УФО-моделей средствами теории паттернов Гренандера. Ее использование позволило формализовать структурные характеристики упомянутых моделей. Алгебраический аппарат ПИ-исчисления выбран в связи с необходимостью формализации функциональных (процессных) характеристик таких моделей.

### Формализация УФО-элементов с помощью ПИ-исчисления

ПИ-исчисление – современная алгебра процессов, которая в общем смысле представляет собой модель параллельных вычислений, основанную на посылке сообщений. Любой алгоритм в терминах ПИ-исчисления представляется как последовательность посылки и принятия сообщений процессами. Кроме того, ПИ-исчисление применяется для описания систем, состоящих из взаимодействующих агентов, отношения между которыми постоянно меняются. Гибкость ПИ-исчисления предоставляет множество различных возможностей для формализации моделей систем различной природы.

Каждый элемент процесса в терминах ПИ-исчисления описывается как самостоятельный процесс. Эти процессы используют события через каналы коммуникаций для координирования поведения общего (рабочего) процесса. Совокупности процессов образуют модель поведения, которая представляет собой модель или технологического процесса, или процесса управления.

Процесс  $P$  (выражение ПИ-исчисления) представляет собой что-либо одно из следующего списка:

- 1)  $c(x).P$  – входной префикс, получение данных  $x$  из канала  $c$  (свойство 1);
- 2)  $\bar{c}(y).P$  – выходной префикс, передача данных  $y$  по каналу  $c$  (свойство 2);
- 3)  $P \mid Q$  – параллельный запуск двух процессов;
- 4)  $!P$  – репликация процесса;
- 5)  $(\lambda x)P$  – объявление канала и последующее выполнение процесса;
- 6)  $\tau_P$  – внутреннее действие процесса, (свойство 3);
- 7)  $0$  – пустой процесс.

Для использования понятий ПИ-исчисления с целью формализации элементов УФО-моделей (УФО-элементов) сопоставим основное понятие ПИ-исчисления «процесс» и УФО-элемент. Сделаем это по аналогии с процедурой сопоставления УФО-элемента с основным понятием теории паттернов «образующая» [4]. Обратим внимание на то, что «образующая» в теории паттернов представляется в виде графического формализма, что было очень удобно в связи с тем, что УФО-элемент также имеет графическое представление.

Поэтому для сопоставления процесса ПИ-исчисления и УФО-элемента введем в ПИ-исчисление понятие графического формализма. Это возможно в связи с наличием у процесса  $P$  свойств 1-3, отмеченных в списке, приведенном выше (см. пункты 1, 2 и 6).

По аналогии с теорией паттернов можно сказать, что процесс в ПИ-исчислении есть объект (сущность), обладающий признаками (внутренним действием  $\tau_P$ ), а также входящими и выходящими связями/каналами (характеризующимися некоторыми показателями  $c(x)$  и  $\bar{c}(y)$ ). Графически это может быть представлено, как показано на рис. 1.

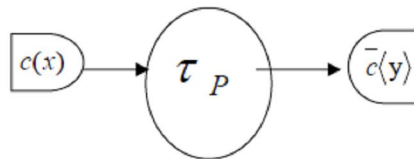


Рис. 1. Представление процесса ПИ-исчисления в виде графического формализма

С точки зрения системно-объектного подхода УФО-элемент представляет собой систему, которой соответствует определенный узел (пересечение связей/потоков) в структуре надсистемы (системы более высокого порядка), определенная функция (в общем случае не единственная), балансирующая потоки данного узла, и определенный



объект (в общем случае для каждой функции не единственный), реализующий данную функцию.

Получается, что процесс  $P$ , так же как и УФО-элемент, является «узлом», т.е. точкой пересечения входных и выходных связей (поток, каналов) в структуре разрабатываемой системы (свойства (1),(2)). В процессе  $P$ , так же как и в УФО-элементе, есть функция, в данном случае внутреннее действие процесса (свойство (3)).

Следовательно, можно утверждать, что таким же образом, как УФО-элемент, с точки зрения перекрестка связей/поток, соответствует «образующей» теории паттернов, таким же образом УФО-элемент, с точки зрения функции, балансирующей потоки узла, соответствует «процессу» ПИ-исчисления.

В результате можно записать, что УФО-элемент как экземпляр процесса в терминах ПИ-исчисления будет иметь вид:

$$УФО = \langle c(x).P | \bar{c}(y).P, \tau_p \rangle .$$

Используем открывающуюся возможность формального описания функций УФО-элементов с помощью понятия «процесс» ПИ-исчисления для алгебраического описания визуальных графоаналитических УФО-моделей. Для примера опишем в терминах ПИ-исчисления бизнес-процесс обработки заказа, который в виде визуальной графоаналитической УФО-модели представлен следующим образом (рис. 2).

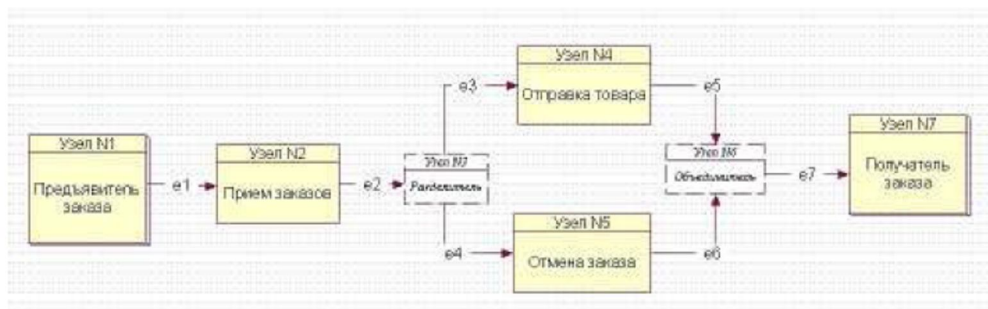


Рис. 2. Пример УФО-модели бизнес-процесса обработки заказа

На рис. 2 представлен простой бизнес-процесс обработки заказа и продажи товара. Грузоотправитель получает заказ и либо принимает заказ и посылает товар заказчику, либо отклоняет заказ.

С формальной точки зрения, любой бизнес-процесс, это кортеж, состоящий из узлов, направленных ребер, типов и атрибутов, что можно записать следующим образом:

$$P = (N, E, F, O) \text{ – формальное описание процесса, где}$$

$N$  – набор узлов;

$E \subseteq (N \times N)$  – набор направленных ребер между узлами;

$F: N \rightarrow func\_N$  – функция;

$O: F \rightarrow obj\_F$  – объект;

$N$  – представляет собой набор узлов;

$E$  – отвечает за маршрутизацию потока управления;

$F$  – описывает связь пары «ключ/значение» для узлов, т.е. связь узла с функцией и представляет собой, собственно, функцию;

$O$  – представляет собой набор объектов.

Таким образом, с формальной точки зрения бизнес-процесс тоже представляет собой граф, который описывает схему бизнес-процесса. Этот граф может быть легко соотнесен с графическим отображением этого процесса в виде УФО-модели.

Чтобы описать граф процесса (и, таким образом, УФО-модель) с помощью семантики алгебры процессов, воспользуемся следующим алгоритмом.



Граф процесса  $P = (N, E, F, O)$  представляется в виде элементов ПИ-исчисления следующим образом.

1. Все узлы процесса  $P$  соответствуют уникальным идентификаторам ПИ-исчисления  $N_1 \dots N_n \mid P_N \mid$ .

2. Все ребра процесса  $P$  соответствуют именам ПИ-исчисления  $e_1 \dots e_n \mid P_E \mid$ .

3. Внутреннюю деятельность процесса будем обозначать  $\tau$ . Если граф процесса циклический, то используется рекурсия для возможности многократного выполнения экземпляра деятельности.

4. Элемент  $N = (ve_1, \dots, e_n \mid P_E) (\prod_{i=1}^{|P_N|} N_i)$  описывает экземпляр процесса.

Далее для формализации графического представления бизнес-процесса (УФО-модели) осуществим сопоставление идентификаторов и имен узлам и ребрам, представленным на рисунке.

Результаты сопоставления с учетом [5] выглядят следующим образом:

$$N1 \stackrel{\text{def}}{=} \tau.e_1 \langle x \rangle . 0;$$

$$N7 \stackrel{\text{def}}{=} e_7(x). \tau . 0.$$

Действия  $N1$  и  $N2$  являются началом и концом бизнес-процесса. Узлы типов задач определяются следующим образом:

$$N2 \stackrel{\text{def}}{=} e_1(x). \tau . e_2 \langle x \rangle . 0;$$

$$N5 \stackrel{\text{def}}{=} e_4(x). \tau . e_6 \langle x \rangle . 0.$$

Выбор и объединение описываются следующим образом:

$$N3 \stackrel{\text{def}}{=} e_2(x). \tau . (e_3 \langle x \rangle . 0 + e_4 \langle x \rangle . 0);$$

$$N6 \stackrel{\text{def}}{=} e_5(x). \tau . e_3 \langle x \rangle . 0 + e_6(x). \tau . e_7 \langle x \rangle . 0.$$

Многозадачное действие с тремя вариантами исполнения представлено следующим образом:

$$N4 \stackrel{\text{def}}{=} e_3(x). (\tau . 0 \mid \tau . 0 \mid \tau . 0 \mid e_5 \langle x \rangle . 0).$$

В итоге УФО-модели простого бизнес-процесса обработки заказов ставится в соответствие следующее алгебраическое выражение теории процессов:

$$N \stackrel{\text{def}}{=} (ve_1, \dots, e_7) (\prod_{i=1}^7 N_i)$$

### Выводы

Моделирование бизнес-процессов – это эффективное средство поиска путей оптимизации, средство прогнозирования и минимизации рисков, возникающих на различных этапах управления процессами и их автоматизации.

Использование системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» в качестве нотации для визуального графоаналитического моделирования бизнес-процессов, является мощным и эффективным инструментом, так как позволяет использовать ПИ-исчисление в качестве формального аппарата для описания УФО-моделей. Это даёт возможность создавать на основе визуальных графоаналитических моделей модели собственно математические, что позволяет, в частности, впервые решить задачу верификации визуальных моделей.





Практическое UFO-моделирование бизнес-процессов управления в ходе проектирования системы управления наружным освещением позволило с помощью ПИ-исчисления решить задачу мониторинга и диагностики электрических сетей, задачу управления переключениями и учета энергопотребления, а также более рационально организовать взаимодействие генерирующих компаний с конечными потребителями электрической энергии [6].

#### Литература

1. Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект» // НТИ. Сер. 2. М.: ВИНТИ, 2005. №1. С. 1-8.
2. Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. Знаниеориентированный VI-инструментарий нового поколения для моделирования бизнеса // Научные ведомости БелГУ. Серия: Информатика и прикладная математика, 2006. №1(21), вып.2. С. 80-91.
3. R. Milner Communicating and Mobile Systems: the  $\pi$ -Calculus. Cambridge University Press, ISBN 052164320, 1999.
4. Маторин С.И., Ельчанинов Д.Б. Применение теории паттернов для формализации системологического UFO-анализа // НТИ. Сер.2. 2002. N 11. С. 1-11.
5. Михелев М.В. Формализация бизнеса с помощью графоаналитических моделей / Михелев М.В., Маторин С.И. // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2009. № 1(56). Вып. №9/1. С. 86-94.
6. Михелев М.В. Моделирование бизнес-процессов в управлении наружным освещением / Михелев М.В., Маторин С.И. // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. Курск, 2009. №3. С. 136-139.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-07-00266.*

## FORMALIZATION UFO-MODELS ON THE BASIS OF PI-CALCULATION

**S.I. MATORIN**  
**M.V. MIKHELEV**

*Belgorod State University*

*e-mail: matorin@bsu.edu.ru*

Discuss capacity of the mathematical description of visual graphic-analytical models, by means of the algebraic device "pi-calculation" by R.Milner, on an example of models control processes in the form of a triune design Node-Function-Object.

Key word: visual graphic-analytical design, automation of construction of diagrams, UFO, pi-calculation, business-process.