



ЛИТЕРАТУРА

1. Девятисильный А.С., Дорожко В.М. Исследование задачи автоматического следования за лидером в системе двух транспортных единиц // Известия Академии наук. Теория и системы управления. – 2000. – №2. – С.163-169.
2. Девятисильный А.С., Стоценко А.К. Модели управления относительным движением двух сухопутных транспортных единиц в задаче следования за лидером // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – Т. 16, №6. – С.426-431.
3. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля. – СПб.: БХВ, 2006.
4. Демидович Б.П. Основные понятия теории устойчивости. Лекции по математической теории устойчивости. – М.: Наука, 1967.
5. Постников М. М. Устойчивые многочлены. – М.: Наука, 1981.
6. ГАЗ-2330 «Тигр» / Материал из Википедии – свободной энциклопедии. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ГАЗ-2330\\_«Тигр»](https://ru.wikipedia.org/wiki/ГАЗ-2330_«Тигр») (дата обращения: 24.04.2015).
7. КамАЗ-4310 / Материал из Википедии – свободной энциклопедии. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/КамАЗ-4310> (дата обращения: 24.04.2015).
8. ГАЗ-3308 / Материал из Википедии – свободной энциклопедии. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГАЗ-3308> (дата обращения: 24.04.2015).
9. Урал-4320 / Материал из Википедии – свободной энциклопедии. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Урал-4320> (дата обращения: 24.04.2015).
10. Урал-5323 / Материал из Википедии – свободной энциклопедии. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Урал-5323> (дата обращения: 24.04.2015).
11. Строевой устав Вооруженных Сил Российской Федерации. Глава 5. Строи взвода, роты, батальона и полка на машинах. – М.: Воениздат, 1993.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А.И. Абакумовым.*

*E-mail:*

*Девятисильный Александр Сергеевич – devyatis@iacp.dvo.ru;*

*Стоценко Александр Константинович – stotsenko@iacp.dvo.ru.*

УДК 004.942

© 2016 г. **В.М. Дмитриев**, д-р техн. наук,

**Т.Е. Григорьева**,

**С.А. Панов**,

**Е.В. Истигечева**, канд. техн. наук,

**И.В. Дмитриев**, канд. техн. наук

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники)

## **ФОРМАЛИЗМ СЕТЕЙ ПЕТРИ С ТРАНЗАКТАМИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ\***

В данной статье представлено моделирование бизнес-процессов на основе сетей Петри с транзактами, описан формализм сетей Петри с транзактами в метод

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 13-07-00378.

компонентных цепей: разработана модель «Сбыт» на примере цветочного магазина, представленная на трех слоях: объектном, логическом и визуальном для эффективности принятия управленческих решений.

**Ключевые слова:** бизнес-процессы, сети Петри, транзакты, моделирование бизнес-процессов, метод компонентных цепей (МКЦ), типы моделей бизнес-процессов, многоуровневая компьютерная модель.

## Введение

Модели сетей Петри позволяют исследовать работоспособность моделируемых систем, оптимальность их структуры, эффективность процесса их функционирования, а также возможность достижения в процессе функционирования определенных состояний. Сети Петри и их обобщения являются удобным и мощным средством моделирования асинхронных, параллельных, распределенных и недетерминированных процессов, позволяют наглядно представить динамику функционирования систем и составляющих их элементов. Свойство иерархического вложения сетей Петри позволяет рассматривать модели различной степени детализации, обеспечивая тем самым необходимую композицию сложных систем и процессов.

Существуют три основные концепции моделирования: на основе языков транзактного типа, на основе описания взаимосвязанных последовательных процессов и на основе расширенных сетей Петри. Языки транзактного типа обладают большей гибкостью, так как близки к языкам программирования высокого уровня. Они позволяют получать более точные данные о процессах функционирования системы, так как осуществляют моделирование обслуживания каждого транзакта. В свою очередь, расширенные сети Петри представляют более наглядные модели, поскольку в их основе лежит графовое представление состояний и событий системы. Более того, сети Петри позволяют проводить аналитическое моделирование алгоритмов системы и выявлять тупиковые ситуации.

Задачами компьютерного моделирования бизнес-процессов является выявление динамики изменения экономических характеристик предприятия, а также формирование эффективных программ, направленных на оптимизацию деятельности предприятия. Применяемые при этом компьютерные модели и методики моделирования целесообразно использовать для прогнозирования последствий принятия управленческих решений, а также осуществления прогнозов развития предприятия.

## Бизнес-процессы и типы их моделей

*Бизнес-процессы (БП)* – это совокупность взаимосвязанных мероприятий или задач, направленных на создание определенного продукта или услуги для потребителей.

*Моделирование бизнес-процессов* [1, 2] – эффективное средство поиска путей оптимизации деятельности компании, средство прогнозирования и минимизации рисков, возникающих на различных этапах реорганизации предприятия. Среди основных причин, побуждающих организацию оптимизировать бизнес-

процессы, можно выделить необходимость снижения затрат или длительности производственного цикла, требования, предъявляемые потребителями и государством, внедрение программ управления качеством, слияние компаний, внутриорганизационные противоречия и др.

Моделирование бизнес-процессов затрагивает многие аспекты деятельности компании:

- изменение организационной структуры;
- оптимизацию функций подразделений и сотрудников;
- перераспределение прав и обязанностей руководителей;
- изменение внутренних нормативных документов и технологии проведения операций.

Существуют следующие типы моделей бизнес-процессов.

*Графическая модель* БП представляется в виде наглядной, общепонятной диаграммы и может служить для обучения новых сотрудников их должностным обязанностям, согласования действий между структурными единицами компании, подбора или разработки компонентов информационной системы и т. д. Описание с помощью моделей такого типа существующих и целевых бизнес-процессов используется для оптимизации и совершенствования деятельности компании путем устранения узких мест, дублирования функций и прочего.

*Имитационные модели* БП позволяют оценить их эффективность и посмотреть, как будет выполняться процесс с входными данными, не встречавшимися до сих пор в реальной работе предприятия.

*Исполняемые модели* БП могут быть запущены на специальном программном обеспечении для автоматизации процесса непосредственно по модели.

### Сети Петри с транзактами

В основе большинства языков описания бизнес-процессов лежит математическая теория сетей Петри или концепция « $\pi$ -исчисления» («Picalculus»).

Рассмотрим теорию сетей Петри с транзактами.

*Сеть Петри с транзактами* представляет собой двудольный ориентированный граф, состоящий из вершин двух типов — позиций (обозначаемые кружочками) и переходов (обозначаемые черточками), соединенных между собой дугами (рис. 1). Вершины одного типа не могут быть соединены непосредственно. В позициях могут размещаться транзакты, способные перемещаться по сети.

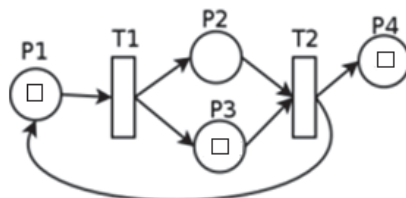


Рис. 1. Пример сети Петри с транзактами.

*Событием* называют срабатывание перехода, при котором транзакты из входных позиций этого перехода перемещаются в выходные позиции. События происходят мгновенно либо одновременно, при выполнении некоторых условий.

Белыми кружками обозначены позиции, полосками – переходы, а квадратами в кружочках – транзакты.

*Транзакт* – это формальный запрос на какое-либо обслуживание. Транзакт в отличие от обычных заявок, которые рассматриваются при анализе моделей массового обслуживания, имеет набор динамически изменяющихся особых свойств и параметров. Пути миграции транзактов по графу определяются логикой функционирования компонентов модели в узлах сети.

Транзакт является динамической единицей любой модели, работающей под управлением имитатора.

Транзакт может выполнять следующие действия:

порождать группы (семейства) других транзактов;

поглощать другие транзакты конкретного семейства;

захватывать ресурсы и использовать их некоторое время, а затем освободить;

определять времена обслуживания, накапливать информацию о пройденном пути и иметь информацию о своем дальнейшем пути и о путях других транзактов.

Примеры транзактов:

требование на перечисление денег;

заказ на выполнение работ в фирме;

телеграмма, поступающая на узел коммутации сообщений;

сигнал о загрязнении какого-либо пункта местности;

приказ руководства;

покупатель в магазине;

пассажир самолета;

проба загрязненной почвы, ожидающая соответствующего анализа.

### **Моделирование бизнес-процессов на основе сетей Петри с транзактами**

Для моделирования БП на основе сетей Петри с транзактами [3] будем использовать среду моделирования МАРС (СМ МАРС)[4], основанную на методе компонентных цепей (МКЦ) и позволяющую представлять модели на трех слоях: объектном, логическом и визуальном [5].

СМ МАРС представляет собой программный продукт для моделирования и анализа физически неоднородных технических систем. Она дает возможность частично или полностью заменить физический эксперимент вычислительным, исследовать и оптимизировать характеристики создаваемых устройств или подсистем в поисках наилучшего варианта.

В тезисном выражении основные характеристики формализма МКЦ можно представить в виде следующих положений.

1. МКЦ – это объектно-ориентированный язык для моделирования сложных и физически-неоднородных объектов с энергетическими и информационными потоками в связях, а также организационно-технологических систем с дискретно-событийным поведением.

2. Компоненты таких систем могут иметь различную физическую природу (электроника, мехатроника, робототехника, автомобилестроение и др.) и входить

в общую модель анализируемого объекта или системы.

3. Исследуемый объект (система) представляется в форме компонентной цепи, модель которой строится из моделей независимых компонентов и моделей связей между ними.

4. Модель компонента формируется автоматически с учетом четырех основных аспектов – топологического, физического, математического (логического) и геометрического, и представляет собой систему алгебро-дифференциальных уравнений в обыкновенных или частных производных. Можно строить модели, содержащие логические соотношения и алгоритмические структуры.

5. Для объектов с функционально обособленными подсистемами введено понятие структуры – подцепи, допускающей автономное решение. Здесь четко разделяются непрерывные (уравнения) и дискретные (алгоритмы) процессы.

6. Форма уравнений компонентной цепи и ее топологическая структура могут меняться в зависимости от поведения переменных или наступления определенных событий.

### **Формализм сетей Петри с транзактами в методе компонентных цепей**

С помощью метода компонентных цепей решается задача моделирования и анализа объектов и систем социально-экономической природы, бизнес-процессов, систем массового обслуживания [6].

Формализм сетей Петри с транзактами представляется следующим образом:

$$C = (S, P, T, I, O),$$

где  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$  – конечное множество позиций;  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_M\}$  – конечное множество переходов;  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_k\}$  – конечное множество транзактов;  $I$  – входная функция, отображение множества переходов во входные комплекты позиций (комплект отличается от множества тем, что может содержать кратные элементы);  $O$  – выходная функция, отображение множества переходов в выходные комплекты позиций.

Формализм сетей Петри с транзактами в методе компонентных цепей можно представить в виде:

$$C_p = (K, B, N),$$

где  $K$  – множество компонентов, каждый из которых характеризует состояние, в котором может находиться подлежащая обработке заявка (БП относительно формализма сетей Петри с транзактами включает в себя множество позиций  $S$  и переходов  $P$ ), т.е.  $K \subset (S, P)$ ;  $B$  – множество ветвей всех компонентов множества  $K$ , предназначенных для прохождения потоков заявок между ними, т.е.  $B \subset (T, I)$ ;  $N$  – множество узлов, образованных при соединении связей компонентов и служащих для коммутации потоков заявок в связях.

Под связью компонента  $k$  понимается множество  $L$ , состоящее из топологических координат  $(n, b, t)$ , где  $n$  – узел;  $b$  – ветвь компонента  $k$ ;  $t$  – транзакт, характеризующий динамику запросов обслуживания.

Формальное представление компонента в МКЦ показано на рис. 2.



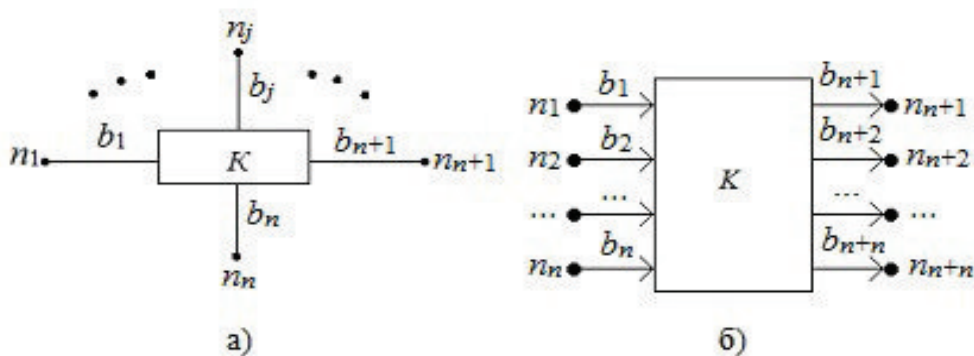


Рис. 2. Формальное представление компонента в МКЦ:  
а) с постоянным числом связей; б) с переменным числом связей.

## Интерпретация БП в многоуровневую компьютерную модель (МКМ)

В современных системах моделирования БП модели представляются в виде графических объектов, связанных между собой. Это позволяет в наглядной форме представлять БП и выполнять их анализ. Основным недостатком такого подхода является то, что полученная модель БП может содержать широкое множество различных элементов, управление которыми осуществляется (например, с помощью задания их свойств) в специальных диалоговых окнах. Разделение моделей БП на несколько уровней (слоев) позволит повысить наглядность и эффективность процесса моделирования и анализа БП.

*Многоуровневая компьютерная модель* [5] – это компьютерная программа, работающая на отдельном компьютере, суперкомпьютере или множестве взаимодействующих компьютеров, реализующая представление объекта, системы или понятия в форме, отличной от реальной, но приближенной к алгоритмическому описанию, включающей и набор данных, характеризующих свойства системы и динамику их изменения со временем, а также представляющая моделирование объекта на трех слоях: объектном, логическом и визуальном.

*БП* определяется как логически завершенная цепочка взаимосвязанных и повторяющихся видов деятельности (выполненной в форме компонентной цепи), в результате которых ресурсы предприятия используются для переработки объекта (виртуально) с целью достижения определенных измеримых результатов (например, отображаемых на визуальном слое многоуровневой модели) или создания продукции для удовлетворения внутренних либо внешних потребителей. В качестве клиента БП может выступать другой БП. В цепочку обычно входят операции, которые выполняются по определенным бизнес-правилам.

Под *бизнес-правилами* понимают способы реализации бизнес-функций в рамках бизнес-процесса, а также характеристики и условия выполнения бизнес-процесса.

*Бизнес-функция* – специфический тип работы (операций, действий), выполняемой над продуктами или услугами по мере их продвижения в бизнес-процессе. Как правило, бизнес-функции определяются самой организационной структурой компании, начиная с функций высшего руководства, через функции управления среднего и нижнего уровня, заканчивая функциями, возложенными на производ-

ственный персонал. Функциональный подход в моделировании БП сводится к построению схемы БП в виде последовательности бизнес-функций, с которыми связаны материальные и информационные объекты, используемые ресурсы, организационные единицы и т. п.

Составляющие БП действия могут выполняться людьми (вручную или с применением компьютерных средств или механизмов) или быть полностью автоматизированы. Порядок выполнения действий и эффективность работы того, кто выполняет действие, определяют общую эффективность БП. Задачей каждого предприятия, стремящегося к совершенствованию своей деятельности, является построение таких БП, которые были бы эффективны и включали только действительно необходимые действия.

*Моделью бизнес-процесса* называется его формализованное (графическое, табличное, текстовое, символьное) описание, отражающее реально существующую или предполагаемую деятельность предприятия. Модель, как правило, содержит следующие сведения о БП:

- набор составляющих процесс шагов — бизнес-функций;
- порядок выполнения бизнес-функций;
- механизмы контроля и управления в рамках бизнес-процесса;
- исполнителей каждой бизнес-функции;
- входящие документы/информацию, исходящие документы/информацию;
- ресурсы, необходимые для выполнения каждой бизнес-функции;
- документацию/условия, регламентирующие выполнение каждой бизнес-функции;
- параметры, характеризующие выполнение бизнес-функций и процесса в целом.

Вариант представления бизнес-процессов в многоуровневую компьютерную модель (МКМ) представлен на рис.3.

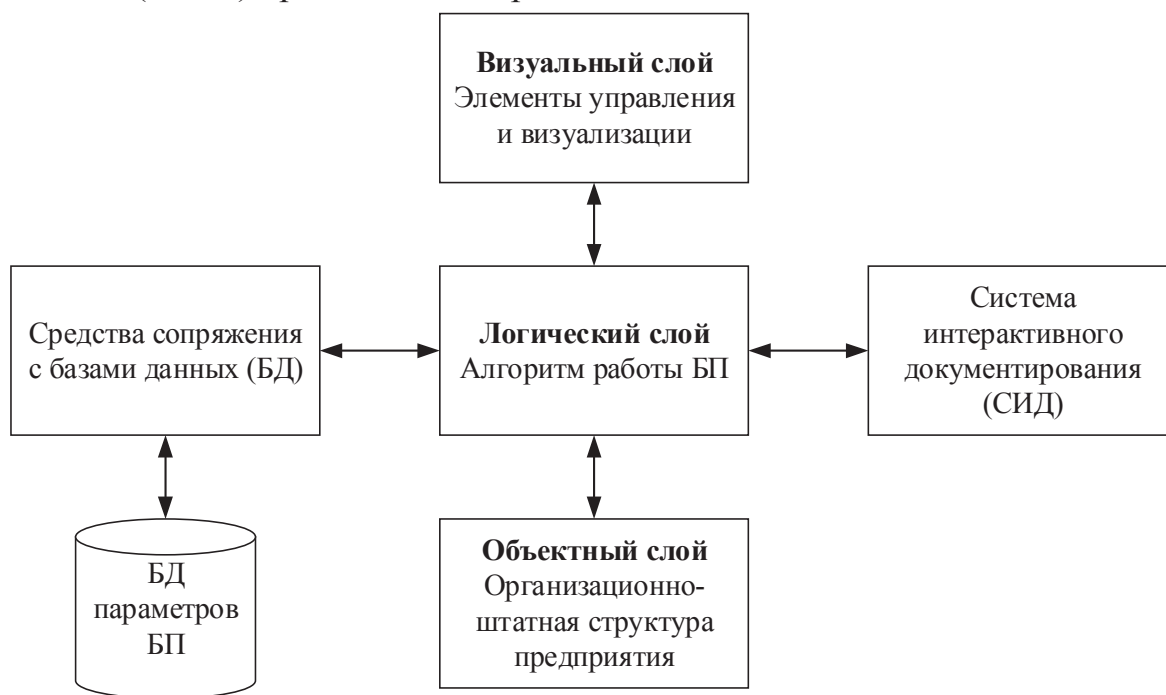


Рис. 3. Представление бизнес-процессов в МКМ.

*Объектный слой* содержит организационно-штатную структуру предприятия, – например, бухгалтерия, плановый отдел, отдел сбыта, склад материалов и готовой продукции, а также ресурсы предприятия и др.

На *логическом слое* из компонентов составляется алгоритм работы бизнес-процессов, состоящий из блоков обработки результатов моделирования, их подготовки к визуализации, направленный на определение ресурсов, потребляемых бизнес-процессом, потенциальных узких мест, а также возможностей для улучшения оптимизации процесса, движение документов и др.

На *визуальном слое* формируется либо готовый отчет, либо необходимая текущая информация, полученная на логическом слое.

### Пример моделирования бизнес-процессов в СМ «МАРС»

Рассмотрим моделирование БП в СМ «МАРС» на примере модели «Сбыт» цветочного магазина.

В данном примере целью является оптимизация отслеживания количества цветов на складе и количества проданных цветов, что повлияет на формирование заявки закупки цветов.

Задача заключается в следующем: в цветочный магазин пришел клиент и хочет купить букет из 20 роз и 5 гербер. Флорист идет на склад, собирает нужные виды цветов, затем упаковывает букет; формируется отчет о количестве проданных цветов и о количестве цветов, оставшихся на складе.

Бизнес-процесс в данном случае можно представить в виде алгоритма, представленного с помощью МКЦ в виде компонентной цепи. Для задания параметров данного бизнес-процесса (например, установка количества цветов) можно использовать элементы управления, а для отображения количества цветов на складе – элементы визуализации. Таким образом, модель «Сбыт» представляется на трех слоях: объектном, логическом и визуальном.

На объектном слое формируется структурная часть модели «Сбыт», которая состоит из следующих компонентов: Покупатель, Продавец, Касса, Букет, Склад (рис. 4).

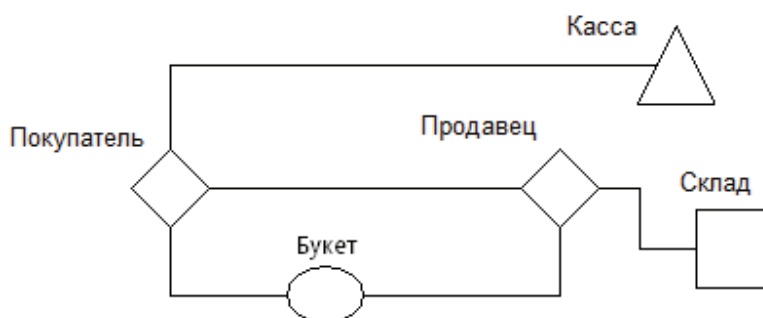


Рис. 4. Модель «Сбыт» на объектном слое.

При покупке цветов покупатель (клиент) обращается к продавцу, продавец в свою очередь идет на склад и собирает букет, отдает его покупателю и покупатель оплачивает его в кассе.

На логическом слое представлена процессорная часть – модель алгоритма процесса сбыта цветов, а на визуальном – наглядный результат моделирования.



На логическом слое модель состоит из таких компонентов как: «Генератор транзактов», «Заполнители параметров», «Количество цветов на складе», «Приемник текста», «Регулятор с прямоугольным бегунком», «Цифровое табло» (рис. 5).

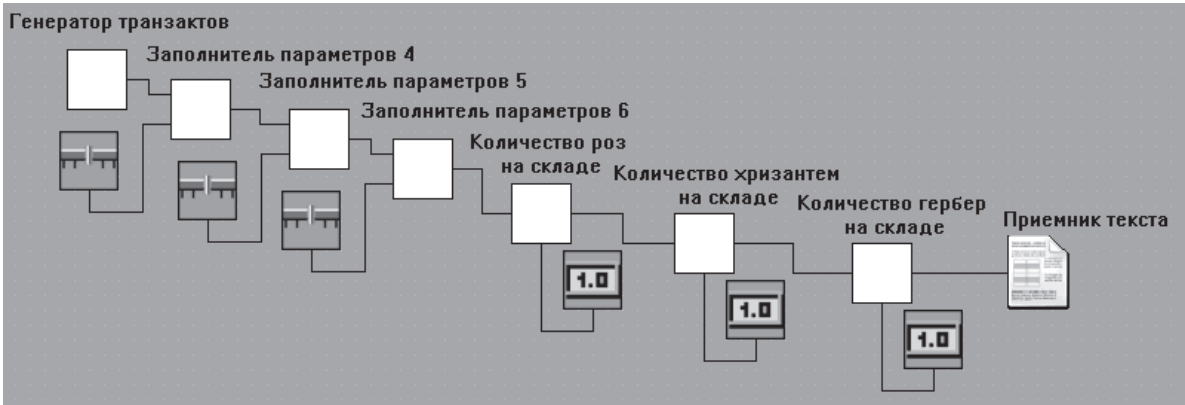


Рис. 5. Модель «Сбыт» на логическом слое.

Таким образом, приемник текста на визуальном уровне будет содержать следующую информацию: количество роз, хризантем, гербер на складе, количество роз, хризантем, гербер в букете (рис. 6).

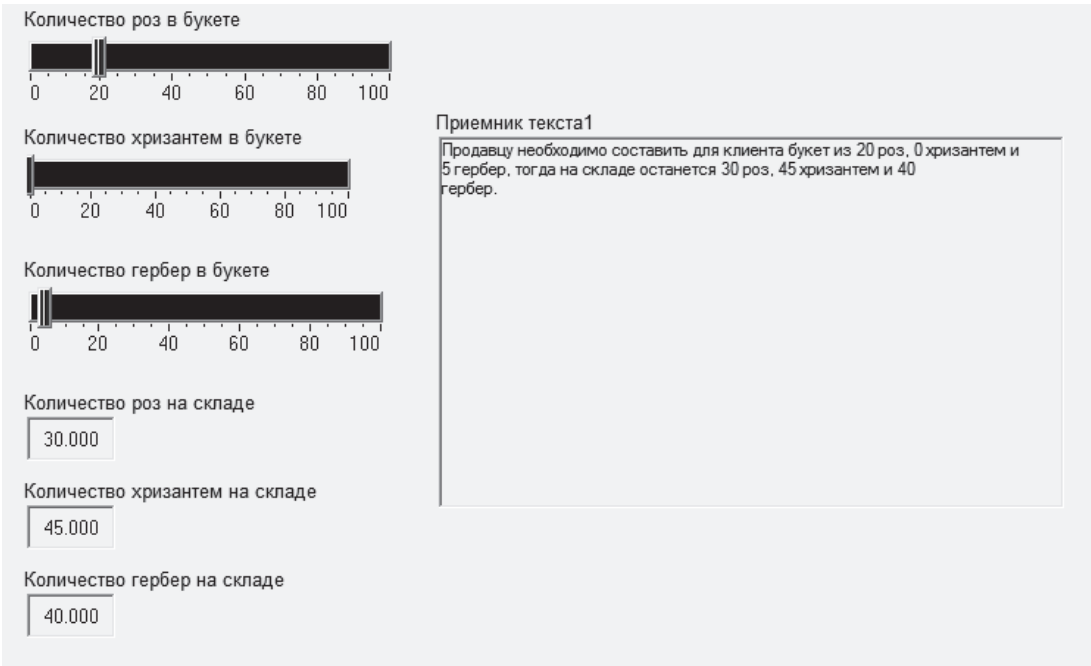


Рис. 6. Модель «Сбыт» на визуальном слое.

Рассмотрим основные компоненты более подробно.

Компонент «Генератор транзактов» (рис. 7) служит для формирования текста транзакта. Через выходную связь  $S_1 = (b_1 \eta^+ n_1)$  осуществляется передача транзакта в другие компоненты. В свойствах данного компонента задаются: название (строковое значение); видимость метки (булево значение); текст с тегами (строковое значение).

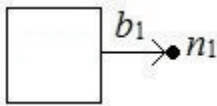


Рис. 7. Графическое представление компонента «Генератор транзактов».

Ввод текста транзакта, представляющего собой статический (неизменяе-

мый) текст и теги (автоматически заменяются на данные), осуществляется либо в свойствах данного компонента, либо в специальном диалоговом окне, открывающемся при двойном щелчке мыши по изображению компонента (рис. 8).

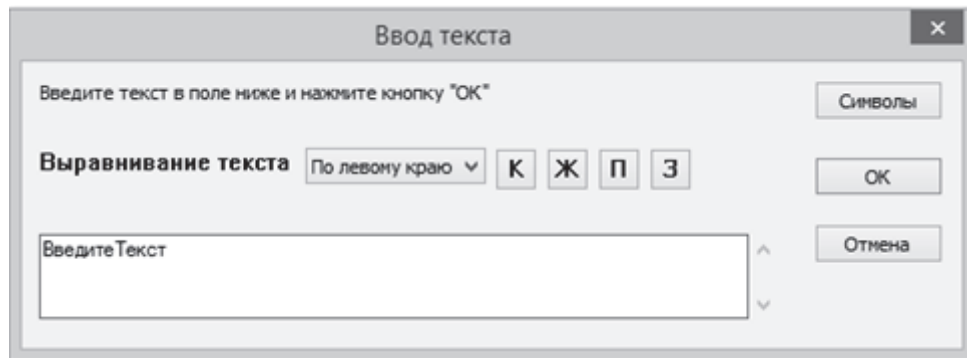


Рис. 8. Диалог для ввода текста транзакта в компоненте «Генератор транзактов».

Теги имеют следующий вид:  $\langle \#Имя\# \rangle$ , где *Имя* – это уникальное имя тега. После того, как ввод текста транзакта будет закончен, необходимо нажать кнопку «ОК», при этом он будет сохранен в специальной переменной. При запуске моделирования текст транзакта из этой переменной будет автоматически передан в компонент «Заполнитель параметра» по выходной связи  $S_1 = (b_1\eta^+n_1)$ .

Компонент «Заполнитель параметра» (рис. 9) служит для вставки данных

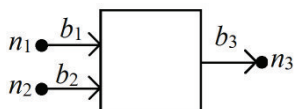


Рис. 9. Графическое представление компонента «Заполнитель параметра».

в транзакт. Компонент имеет следующие связи: входная связь  $S_1 = (b_1\eta^-n_1)$  служит для получения текста транзакта из компонента «Генератор транзактов»; входная связь  $S_2 = (b_2\eta^-n_2)$  служит для получения данных,

поступающих из других компонентов;

выходная связь  $S_3 = (b_3\eta^+n_3)$  служит для передачи текста транзакта с данными в другие компоненты.

Компонент имеет следующие свойства: название компонента (строковое значение); видимость метки (булевское значение); имя тега (строковое значение).

При запуске моделирования в тексте транзакта, приходящего по связи  $S_1 = (b_1\eta^-n_1)$ , происходит замена тега (обозначенного в свойстве «Имя тега» компонента «Заполнитель параметра») на данные, приходящие по связи  $S_2 = (b_2\eta^-n_2)$ , и передача полученного текста транзакта в другие компоненты по связи

$$S_3 = (b_3\eta^+n_3).$$

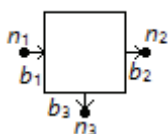


Рис. 10. Графическое представление компонента «Склад».

Компонент «Склад» (рис. 10) служит для хранения и отображения количества хранящихся на нем продуктов (товаров). Компонент «Склад» имеет следующие связи: входная связь  $S_1 = (b_1\eta^-n_1)$  служит для приема текста транзак-

та; выходная связь  $S_2 = (b_2 \eta^+ n_2)$  служит для передачи текста транзакта в другие компоненты; выходная связь  $S_3 = (b_3 \eta^+ n_3)$  служит для передачи числового значения (вместимость склада) в другие компоненты.

Компонент имеет следующие свойства: название компонента (строковое значение); видимость метки (булево значение); вместимость склада (числовое значение); имя тега вставки (строковое значение).

При запуске моделирования происходит получение текста транзакта по связи  $S_1 = (b_1 \eta^- n_1)$ . Далее в тексте транзакта происходит замена тега, указанного в свойстве «Имя тега вставки», на числовое значение вместимости склада.

Компонент «Приемник текста» (рис. 11) служит для отображения на визуальном слое многоуровневого редактора СМ «МАРС» текста, поступающего по входной связи  $S_1 = (b_1 \eta^- n_1)$ .

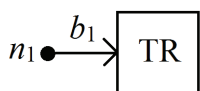


Рис. 11. Графическое представление компонента «Приемник текста».

На визуальном слое приемник текста будет содержать следующую информацию: количество роз, хризантем, гербер на складе, количество роз, хризантем, гербер в букете (рис. 5).

С помощью модели «Сбыт» формируется отчет о количестве проданных цветов в букете, благодаря чему автоматически изменяется количество цветов на складе, что влияет на закупку цветов.

## Заключение

Моделирование деятельности предприятия в виде БП позволяет составить представление о его производственной деятельности, взаимодействии его подразделений между собой и с внешней средой. Сети Петри с транзактами используются для решения разнообразных задач анализа, синтеза и оптимизации. С помощью созданных компонентов можно смоделировать большой класс задач для систем массового обслуживания, БП, экономики, техники, физики, социологии и системного анализа, применительно для реальных ситуаций.

Создание имитационной модели БП позволяет получить информацию, характеризующую приспособленность рассматриваемой системы для выполнения поставленных перед ней задач. Анализ численных значений критериев дает возможность сделать выводы относительно реальной эффективности системы и выработать рекомендации по ее повышению. Имитационное моделирование значительно расширяет возможности и эффективность работы лиц, принимающих решения, предоставляя им удобный инструмент и средства для достижения поставленных целей.

Вариант представления БП в многоуровневую компьютерную модель на трех слоях – объектном, логическом и визуальном – дает возможность выбрать и просчитать варианты их улучшения без проведения реальных экспериментов с компанией и в то же время является основой принятия управленческих решений.



ЛИТЕРАТУРА

1. Истигечева Е.В., Григорьева Т.Е., Панов С.А. Моделирование бизнес-процессов на примере модели «Сбыт» // Таврический научный обозреватель. – 2015. – № 3, ч. 2. – С.55-59.
2. Истигечева Е.В., Григорьева Т.Е., Панов С.А. Моделирование бизнес-процессов на примере модели «Хранение» // Научная дискуссия: вопросы технических наук. Сб. статей по материалам XL международной заочной научно-практической конференции. – М., 2015. – № 11 (29). – С. 18-23.
3. Григорьева Т.Е., Панов С.А. Сети Петри с транзактами для моделирования бизнес-процессов // Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Научная сессия ТУСУР-2015. – Томск, 2015. – Ч. 5. – С. 304-306.
4. Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Зайченко Т.Н., Ганджа Т.В. МАРС – среда моделирования технических устройств и систем. – Томск: В-Спектр, 2011.
5. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В. Принцип формирования многоуровневых компьютерных моделей SCADA-систем для управления сложными технологическими объектами // Информатика и системы управления. – 2013. – № 2 (36). – С. 24-35.
6. Григорьева Т.Е. Дискретно-событийное моделирование в СМ «МАРС» для курса «Системы массового обслуживания» // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2014. – 1(31). – С.152-155.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Шелупановым.*

*E-mail:*

*Дмитриев Вячеслав Михайлович – dmitriewvm@gmail.com;  
Григорьева Татьяна Евгеньевна – tanya\_grig\_1991@mail.ru;  
Панов Сергей Аркадьевич – spytech3000@gmail.com;  
Истигечева Елена Валентиновна – ievne@mail.ru;  
Дмитриев Игорь Вячеславович – igor.dmitriev@om.ru.*

УДК 519.854.2

© 2016 г. **О.Э. Долгова,**  
**В.В. Пересветов**, канд. физ.-мат. наук  
(Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск)

## **ЛУЧЕВОЙ ПОИСК И МУРАВЬИНЫЙ АЛГОРИТМ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА**

Рассматривается задача маршрутизации транспортных средств с ограничениями на грузоподъемность и на длину пройденного пути в пределах одного маршрута. Для ее решения предложен гибридный подход, сочетающий лучевой поиск, алгоритм муравьиных колоний и локальный поиск.

**Ключевые слова:** задача маршрутизации транспорта с ограничением на грузоподъемность, алгоритм муравьиных колоний, лучевой поиск, локальный поиск.