

УДК 519.876

*Е. А. СОЛОВЬЕВА*, д-р техн. наук,*И. В. ЦЕХМИСТРО*, аспирант каф. социальной информатики, ХНУРЭ

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА МОДЕЛЯХ УЗЕЛ-ФУНКЦИЯ-ОБЪЕКТ**

В статті розглядаються питання проектування бізнес-процесів на моделях Вузол-Функція-Об'єкт. Пропонується використати імітаційне моделювання та методи випадкового пошуку, а саме, генетичні алгоритми для пошуку раціонального рішення в задачах моделювання бізнес-процесів. Виконана адаптація генетичних алгоритмів до розв'язання даних задач на моделях Вузол-Функція-Об'єкт. Розроблений опис початкових варіантів ВФО діаграм моделюемого бізнес-процесу; опис цільової функції моделі бізнес-процесу; опис операторів генетичного алгоритму для ВФО моделей.

### **1 Введение**

В настоящее время большинство задач анализа и построения моделей бизнес-процессов относятся к сложным многокритериальным [1,2], при их решении необходимо одновременно учитывать факторы неопределенности, динамическую взаимную обусловленность текущих решений и последующих событий, комплексную взаимозависимость между управляемыми переменными исследуемой системы. Хотя существуют библиотеки типовых моделей, но применить любую из них в реальной организации — отдельный проект со своими сложностями.

При этом размерность решаемых задач и неформализуемость сложных систем, к которым относятся бизнес-процессы, не позволяют использовать строгие методы оптимизации [3].

Один из возможных классов задач, связанных с принятием решения при моделировании бизнес-процессов, заключается в генерации возможных диаграмм взаимодействия компонентов бизнес-процесса, оценке этих диаграмм и выборе среди них лучшей. «Правильное» решение – это такой вариант возможной модели бизнес-процесса, который оптимизирует некоторую целевую функцию (производительность, доходность и т.п.) в пространстве рассматриваемых решений [4].

**Модели и методы.** Важной особенностью УФО-подхода является возможность создания информационных репозиторийев, УФО-библиотек готовых элементов: узлов и объектов, которые могут использоваться для построения модели бизнес-процесса [5]. В этой связи обеспечение имитационного моделирования в УФО-подходе позволяет проводить не только анализ процессов функционирования больших систем, но и решать задачи синтеза таких систем [6]. Так, при использовании УФО-библиотек с

большим количеством хранимых УФО-элементов и генерации множества вариантов диаграмм взаимодействия по узловым и объектным характеристикам необходимо обеспечить обоснованное их сокращение и оптимизацию. Предложено применить генетические алгоритмы (ГА) для получения приемлемого по быстродействию и качеству алгоритма построения УФО-моделей.

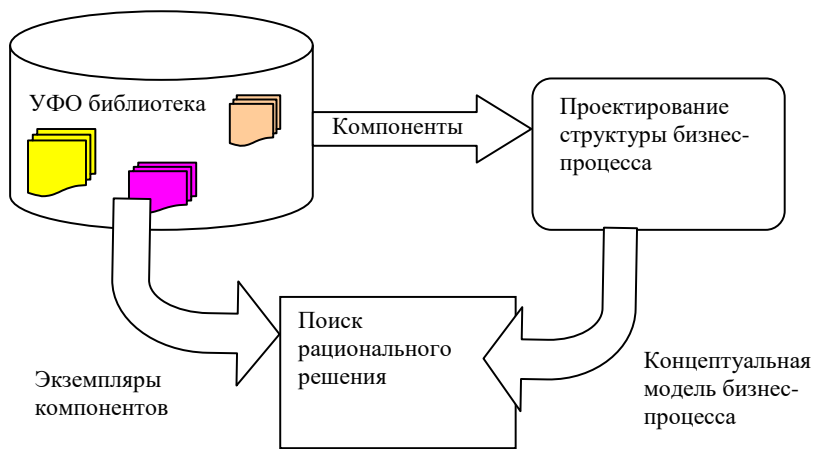


Рис. 1 – Роль алгоритмов случайного поиска в автоматизации построения УФО-модели бизнес-процесса

ГА отражают принципы естественного отбора и генетики: выживание наиболее перспективных особей, наследование и мутации. ГА ориентированы на нахождение не оптимального решения, а на поиск лучшего, чем существующие на данный момент решения. Такой подход эффективен для сложных систем, где зачастую необходимо каким-то образом улучшить текущее решение, а задача поиска оптимального решения не ставится из-за сложности системы и, как следствие, невозможности применения традиционных методов, которые направлены на нахождение оптимальных решений [7]. К таким системам зачастую относятся бизнес-процессы. Поэтому ГА можно также применять для моделирования экспертных знаний, которые представляют собой комбинацию теоретико-аналитических методов и эвристических правил решения задач, которые показали свою эффективность на практике.

**Цель** Исходя из вышесказанного, перспективной для исследования представляется проблема формализации и алгоритмизации процесса автоматической сборки имитационной УФО-модели бизнес-процесса. Предлагается адаптировать генетические алгоритмы к решению задачи

генерации различных вариантов модели бизнес-процессов и выбора среди них наилучшей в системах моделирования бизнес-процессов. В качестве способа представления модели бизнес-процесса в виде строки кода, обрабатываемой генетическим алгоритмом, предлагается использовать УФО-модель.

**Задачи** Поставленная проблема включает в себя следующие основные задачи:

- Описание начальных вариантов УФО диаграмм взаимодействия моделируемого бизнес-процесса.
- Описание целевой функции модели бизнес-процесса;
- Описание генетического алгоритма (операторов отбора, скрещивания, редукции и мутации) для УФО моделей.

## 2 Описание генотипа для УФО-модели

Генетические алгоритмы имитируют адаптацию живых организмов к внешним условиям в ходе эволюции. Точнее, они моделируют эволюцию целых популяций организмов и поэтому требуют достаточно больших ресурсов памяти и высокой скорости вычислительных систем. При использовании ГА альтернативные решения кодируются в виде строки символов, имеющей фиксированную длину и называющейся генотипом [7], над которыми можно производить генетические операции кроссинговера и мутации. Поэтому выбор удачного формального описания генотипа может значительно облегчить нахождение решения.

Первый шаг при решении задачи поиска состоит в том, чтобы определиться относительно объектов множества потенциальных решений. В данной задаче решением является бизнес-процесс  $B$  :

$$B = \langle S, M \rangle, \quad (1)$$

где  $B$  – бизнес-процесс, который необходимо спроектировать,  $S = const$  – структура бизнес-процесса,  $M = const$  – состав бизнес-процесса.

$$M = (M_1, \dots, M_R), \quad (2)$$

где  $M_i$  –  $i$ -й компонент бизнес-процесса,  $R$  – количество компонентов бизнес-процесса.

$$M_i = \{ M_{ij} \}_{j=1}^{N_i}, \quad (3)$$

где  $M_{ij}$  –  $j$ -й экземпляр  $i$ -го компонента,  $N_i$  – количество экземпляров  $i$ -го компонента.

Второй шаг, который должен предшествовать процедуре поиска состоит в выборе представления объектов  $B$ , с которыми генетический алгоритм

будет манипулировать. Представление бизнес-процесса  $B$  может быть описано в виде строки символов (2).

Исходя из цели задачи, в этом представлении не хватает УФО-модели. Очевидно, чтобы получить описание (2) объекта  $B$  в виде УФО-модели, необходимо определять его структуру  $S$  и состав  $M$  также с помощью УФО-подхода.

В системологическом подходе бизнес-система рассматривается с трех сторон. С одной стороны, как перекрестка входных и выходных связей/потоков, т.е. как Узла. С другой стороны, как процесса преобразования элементов входных потоков, в элементы выходных потоков, т.е. как Функции. С третьей стороны, как материального явления, реализующего функцию преобразования входа в выход, т.е. как Объекта.[5]

Узловая характеристика определяет структурные элементы бизнес-системы, перекрестки входных и выходных потоков. Из определений (2) и (3) следует, что состав  $M$  полностью определяется компонентами, поэтому каждый компонент  $M_i$  должен быть описан в виде УФО-узла (компонента бизнес-системы из УФО- библиотеки), а это в свою очередь означает, что каждый экземпляр компонента  $M_i$  необходимо определить в виде УФО-объекта (экземпляра компонента из УФО- библиотеки).

Рассмотрим экземпляр  $M_{ij}$ . Обозначим УФО-объект, моделирующий этот экземпляр, через  $U_{ij}$ . Учитывая то, что экземпляры разных компонентов взаимодействуют между собой, у каждого экземпляра необходимо выделить входы и выходы, которые, естественно, будут моделироваться входами и выходами  $U_{ij}$ . Множество входных и выходных портов обозначим через  $IN_{ij}$  и  $OUT_{ij}$  соответственно.

Теперь рассмотрим компонент  $M_i$ . Структура этого компонента полностью определяется тем экземпляром  $M_{ij}$ , который его представляет. Компоненты взаимодействуют между собой через входы и выходы, моделируемые множеством входных и выходных портов, которые будут обозначаться через  $IN_i$  и  $OUT_i$  соответственно. Естественно, что между элементами множеств  $IN_{ij}$  и  $IN_i$ , а также  $OUT_{ij}$  и  $OUT_i$  должны существовать взаимно однозначные соответствия  $F_{IN}^{ij}: IN_{ij} \rightarrow IN_i$  и  $F_{OUT}^{ij}: OUT_{ij} \rightarrow OUT_i$ . Такое соответствие заведомо выполняется для УФО-объекта принадлежащего заданному узлу, см. рис. 2.

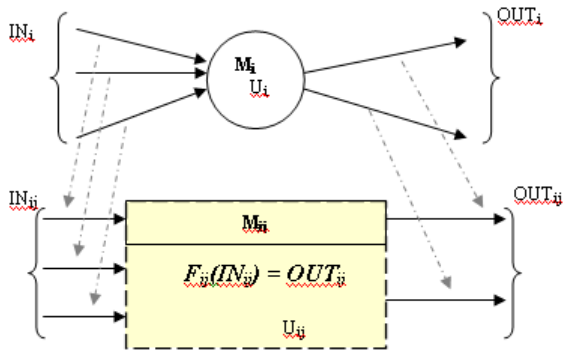


Рис 2 Соответствие между узлом и объектом

Обозначим УФО-узел, моделирующий компонент  $M_i$ , через  $U_i$ . Если компонент  $M_i$ , представлен экземпляром  $U_{ij_o}$ , то  $U_i = U_{ij_o}$ .

Наконец, рассмотрим структуру  $S$  бизнес-процесса  $B$ . Она полностью определяется взаимосвязями между компонентами, которые естественно моделировать связями между УФО-узлами. Обозначим множество таких связей через  $C$ . Каждая связь  $c_r \in C$  соединяет определенный выходной порт узла  $U_j$  с определенным входным портом узла  $U_k$ .

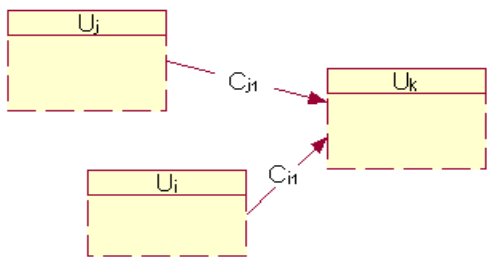


Рис. 3 Связи между узлами УФО-модели бизнес-процесса

Следовательно, соответствие  $F : C \rightarrow \bigcup_{i=1}^R (IN_i \cup OUT_i)$  полностью определяет структуру  $S$  объекта  $B$ .

УФО-модель, моделирующую бизнес-процесс  $B$ , можно описать в виде кодовой строки

$$U = \langle U_1, \dots, U_i, \dots, U_R, C, F \rangle, \tag{4}$$

где  $U_i$  – УФО-модель компонента  $M_i$ , а множество связей  $C$  и соответствие  $F$  определяют структуру  $S$  объекта  $B$ .

### 3 Описание целевой функции и алгоритма решения

Для реализации алгоритма поиска в пространстве представлений необходимо ввести функцию оценки представлений  $B$ . Согласно поставленной задаче, из всех возможных моделей бизнес-процесса  $B$  необходимо выбрать такую, которая обладала бы заданным свойством. В качестве свойства объекта можно рассматривать его реакцию на входные сигналы [5]. Свойство объекта определяется тем, какой выходной сигнал выдает объект на поступающий входной сигнал (за заданный промежуток модельного времени). Поэтому у бизнес-процесса  $B$  следует выделить входы и выходы, которые будут моделироваться портами УФО-узла. Множества входных и выходных портов обозначим через  $IN$  и  $OUT$  соответственно.

Свойством бизнес-процесса  $B$  будем называть пару неотрицательных целочисленных векторов

$$Z_{IN} = (z_1^{IN}, \dots, z_a^{IN}, \dots, z_A^{IN}) \text{ и } Z_{OUT} = (z_1^{OUT}, \dots, z_b^{OUT}, \dots, z_B^{OUT}),$$

где  $z_v^{IN}$  – числовое значение, поступивших на  $a$ -ый входной порт перед запуском имитации  $U$ ,  $z_w^{OUT}$  – числовое значение, полученное на  $b$ -ом выходном порту после остановки имитации  $U$ ,  $A$  и  $B$  – количество элементов множеств  $IN$  и  $OUT$  соответственно.

Множество  $P$  свойств, которыми может обладать проектируемый объект, моделируется множеством  $Z = \{Z_k\}_{k=1}^L$ , где  $Z_k = (Z_{IN}^k, Z_{OUT}^k)$  – модель свойства  $P_k$  в виде пары неотрицательных целочисленных векторов.

Таким образом, поставленная задача сводится к следующей. Среди всех гипотетически возможных моделей  $U$  бизнес-процесса  $B$  найти такую, которая обладает свойством  $Z_k$ .

Для того чтобы проверить, обладает ли модель  $U$  свойством  $Z_k$ , необходимо сформировать эту модель, на ее вход  $IN$  подать вектор  $Z_{IN}^k$ , запустить имитационную модель  $U$  и после ее остановки сравнить значения на выходе  $OUT$  с вектором  $Z_{OUT}^k$ . Учитывая, что модель, обладающая заданным свойством может вообще не существовать, переформулируем поставленную задачу найти среди всех гипотетически возможных моделей  $U$  объекта бизнес-процесса  $B$  такую, которая ближе всего к свойству  $Z_k$ .

Для этого необходимо определить меру близости модели  $U$  к свойству  $Z_k$ . Сначала необходимо на вход  $IN$  модели подать вектор  $Z_{IN}^k$  и получить на выходе вектор  $Z_{OUT}$ . Меру близости будем определять, привлекая понятие метрического пространства [8,7] и рассматривая полученный вектор  $Z_{OUT}$  и эталонный вектор  $Z_{OUT}^k$  как элементы евклидова пространства  $\mathfrak{R}^D$  –

множества упорядоченных наборов из  $D$  действительных чисел  $x = (x_1, \dots, x_D)$  с расстоянием

$$fitness(x, y) = \sum_{w=1}^{W_0} |x_w - y_w|, \quad (5)$$

где  $y = (y_1, \dots, y_D)$ .

Чем меньше  $fitness(Z_{OUT}, Z_{OUT}^k)$ , тем ближе модель  $U$  к свойству  $Z_k$ . Если  $fitness(Z_{OUT}, Z_{OUT}^k) = 0$ , то модель  $U$  обладает свойством  $Z_k$ . Расстояние  $fitness$  - целевая функция.

#### 4 Описание генетических операторов применительно к УФО-моделям

Множество генотипов, непосредственно обрабатываемое ГА, называется популяцией. ГА имитирует эволюцию популяции как циклический процесс скрещивания генотипов и смены поколений. Жизненный цикл популяции - это несколько случайных скрещиваний (кроссовера) и мутаций, в результате которых к популяции добавляется какое-то количество новых индивидуумов (генотипов). Отбор в генетическом алгоритме - это процесс формирования новой популяции из старой, после чего старая популяция погибает. После отбора к новой популяции опять применяются генетические операторы (кроссовера и мутации), затем опять происходит отбор, и так далее.

Операторы ГА манипулируют генотипами, представленными в виде кодовой строки символов [7]. Кодовая строка является УФО-моделью, для вычисления ее целевой функции можно использовать аппарат имитационного моделирования. Таким аппаратом является продукционная система имитационного моделирования на УФО-моделях [6].

Перед первым этапом генетического алгоритма необходимо случайным образом создать некую начальную популяцию; даже если она окажется совершенно неконкурентоспособной, генетический алгоритм все равно достаточно быстро переведет ее в жизнеспособную популяцию. Итогом первого шага является популяция  $H = (U^1, \dots, U^{2n})$ , состоящая из  $2n$  особей, (предполагается, что размер популяции - четное число), где  $U^i$  -  $i$ -я модель проектируемого бизнес-процесса в виде имитационной УФО-модели.

Оператор отбора получает начальную популяцию, вычисляет значение целевой функции каждого генотипа  $U^i$  и упорядочивает генотипы в порядке возрастания целевой функции, тем самым, моделируя образование пар  $U^{j_{2i-1}}$  и  $U^{j_{2i}}$  родителей для новой популяции.

Оператор скрещивания будет скрещивать генотипы  $U^{j_{2i-1}}$  и  $U^{j_{2i}}$  и выдавать  $U_*^{j_{2i-1}}$  и  $U_*^{j_{2i}}$ . Генотипы преобразуются по следующему правилу:

1. Случайным образом из множества  $\{1, 2, \dots, R\}$  выбирается некоторое число, которое мы обозначим через  $r$ .

2. В генотипах  $U^{j_{2i-1}}$  и  $U^{j_{2i}}$  выделяем модель  $r$ -го узла/компонента

$$U^{j_{2i-1}} = \langle U_1^{j_{2i-1}}, \dots, U_r^{j_{2i-1}}, \dots, U_R^{j_{2i-1}}, C, F \rangle$$

$$U^{j_{2i}} = \langle U_1^{j_{2i}}, \dots, U_r^{j_{2i}}, \dots, U_R^{j_{2i}}, C, F \rangle$$

3. Меняем местами выделенные компоненты и получаем новые модели рис. 4.

$$U_*^{j_{2i-1}} = \langle U_1^{j_{2i-1}}, \dots, U_r^{j_{2i}}, \dots, U_R^{j_{2i-1}}, C, F \rangle$$

$$U_*^{j_{2i}} = \langle U_1^{j_{2i}}, \dots, U_r^{j_{2i-1}}, \dots, U_R^{j_{2i}}, C, F \rangle$$

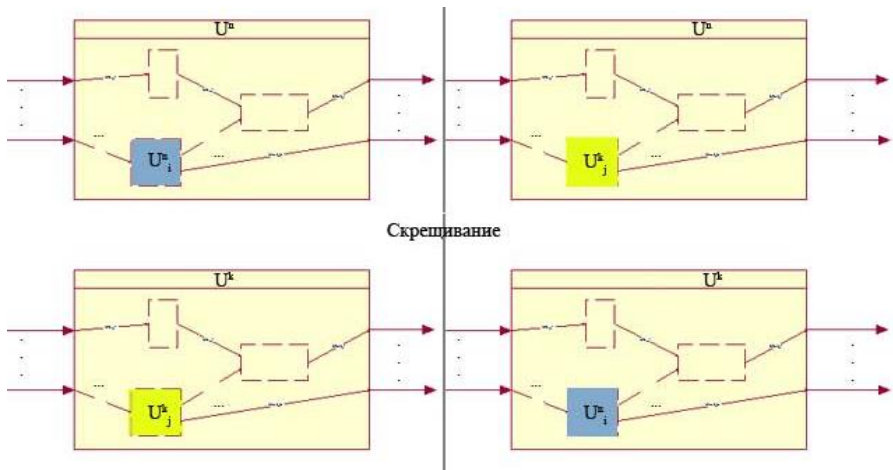


Рис. 4 Действие оператора скрещивания

Оператор мутации получает на вход  $U_*^{j_{2i}}$ , осуществляет мутацию и выдает новый генотип  $U_{**}^{j_{2i}}$ . Хромосома подвергается мутации по следующему правилу:

1. Случайным образом из множества  $\{1, 2, \dots, R\}$  выбирается некоторое число, которое мы обозначим через  $r$ .

2. В генотипе  $U_*^{j_{2i}}$  выделяем модель  $r$ -го компонента



$$U_*^{j_{2i}} = \langle U_1^{j_{2i}}, \dots, U_r^{j_{2i}}, \dots, U_R^{j_{2i}}, C, F \rangle$$

3. Из множества  $\{U_{rj}\}_{j=1}^{M_r}$  моделей УФО-объектов, реализующих  $r$ -й узел (компонент) в УФО- библиотеке случайным образом выбирается новая модель, которую обозначим через  $U_{r_{new}}^{j_{2i}}$ , заменяем ею компонент  $U_r^{j_{2i}}$  и получаем новую модель, рис. 5.

$$U_{**}^{j_{2i}} = \langle U_1^{j_{2i}}, \dots, U_{r_{new}}^{j_{2i}}, \dots, U_R^{j_{2i}}, C, F \rangle$$

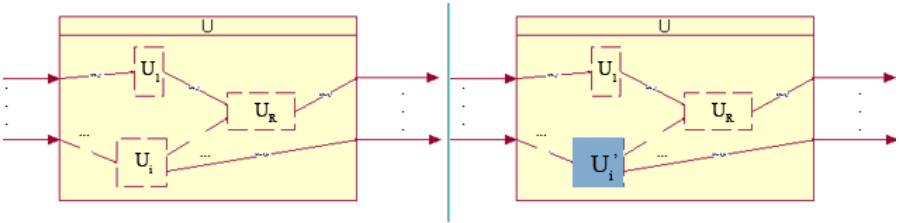


Рис. 5 Действие оператора мутации

Оператор редукции получает новое поколение популяции, вычисляет значение целевой функции каждого генотипа  $U^i$ , сравнивает с предыдущим поколением и удаляет худшие генотипы, моделируя выживание сильнейших особей.

Алгоритм решения можно описать следующим образом:

1. Для каждого компонента  $M_i$  построить модель  $U_{ij}$  каждого его экземпляра  $M_{ij}$  (в случае использования готовых компонентов загрузить УФО-библиотеку).
2. Построить структуру  $S$ , определив УФО-узлы (компоненты бизнес-процесса) и связи между ними.
3. Сформировать начальную популяцию  $H$ .
4. Задать свойство  $P_k$ , которым должен обладать бизнес-процесс  $B$ , в виде пары векторов  $Z_k = (Z_{IN}^k, Z_{OUT}^k)$ .
5. Задать параметры ГА: количество циклов работы модели ГА и условие ее завершения в виде значения целевой функции  $fitness$ .
6. Запустить модель ГА подав на вход начальную популяцию  $H$ .
7. После завершения работы ГА получим модель  $U$  объекта  $B$ , которая лучше всех удовлетворяет заданному свойству  $Z_k$ .

## 5 Заключение

Важной особенностью системологического подхода является возможность создания информационных репозиторий готовых компонентов, которые могут использоваться для построения модели бизнес-процесса [5]. При использовании УФО-библиотек с большим количеством хранимых УФО-элементов применение имитационного моделирования дает возможность автоматизированного построения вариантов УФО- модели бизнес-процесса и поиска среди них рационального решения методами случайного поиска, а именно генетических алгоритмов.

Научная значимость: выполнена адаптация генетических алгоритмов к решению задачи генерации различных вариантов модели и выбора среди них рационального решения в системах моделирования бизнес-процессов. Разработаны описание начальных вариантов УФО-диаграмм моделируемого бизнес-процесса; описание целевой функции модели бизнес-процесса; описание операторов генетического алгоритма для УФО-моделей.

Практическая значимость: применение генетических алгоритмов для сужения поиска оптимальных компонентов модели бизнес-процесса из УФО-библиотек значительно повышает эффективность и скорость проектирования бизнес-процессов, что имеет большую практическую ценность в современных условиях рыночной конкурентной борьбы, когда на первое место выходит скорость генерации новых идей.

**Список литературы:** 1. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных систем и процессов. Язык РДО. М.: АНВИК, 1998. 427 с. 2. Цехмистро И.В. Методы и средства имитационного моделирования бизнес-процессов. // Вестник НТУ «ХПИ», 2005, №41. 3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: Высш. шк., 1998. 319с. 4. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. – М.: «Синтег». 5. Маторин С.И. Анализ и моделирование бизнес-систем: системологическая объектно-ориентированная технология / Под редакцией проф. М.Ф. Бондаренко. Харьков: ХНУРЭ, 2002. 6. Цехмистро И.В. Имитационное моделирование бизнес-процессов. // «Единое Информационное Пространство - 2006», 2006. 7. Эволюционные вычисления и генетические алгоритмы. Обзорные прикладной и промышленной математики. Вып. 5. М.: ТВП. Т.3. 1996. 8. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа: Учебник для вузов. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 624 с.

*Поступила в редколлегию 07.07.07*