

УДК 004:942

Е.И. Кучеренко, С.Н.Трохимчук

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

## ГИБРИДНЫЕ МОДЕЛИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

*Рассмотрены и обоснована структура новой гибридной имитационной модели и информационные технологии в управлении сложными производственными системами. Определена перспектива дальнейших исследований. Эффективность подходов подтверждается внедрениями на реальных объектах.*

Ключові слова: імітаційна модель, гібридна модель, нечітка база знань.

Форм.14. Рис. 2. Літ 13.

### Введение

Важным аспектом управления процессами в сложных системах является создание моделей и их реализация как составляющей снижения уровня неопределенности и повышения качества создаваемых объектов и систем.

В связи с этим важным является создание гибридных моделей [1], которые в значительной степени превосходят их образующие, но обладают всеми достоинствами частных моделей и одновременно устраняют большинство из присутствующих недостатков [2]. Наличие таких противоречивых требований чаще всего устраняется решением оптимизационных задач на множестве ограничений предметной области.

Существующие решения [3] во многом имеют существенные ограничения предметной области их использования, что требует новых решений. В связи с этим работа является важной и актуальной и ориентирована на создание и реализацию новых информационных технологий.

### 1 Постановка задачи исследований

Пусть существует пространственно распределенный объект [4] как система, состоящая из компонентов

$$\{A_{\alpha}\} \supseteq \{A(O)_{\alpha}\}, \alpha \in A, \quad (1)$$

где  $A(O)_{\alpha}$  - множество объектов,

$A$  - множество индексов объектов,

Компоненты системы (1) взаимодействуют на основе множества динамических процессов

$$\{Pr\} \subseteq \{Pr_j\}, \quad (2)$$

которые характеризуются существенной неопределенностью и противоречивостью на множестве (2)..

Модель процессов (2), которые носят детерминированный, вероятностный и нечеткий характер [5], имеет вид

$$S = \{Pr(D)\} \cup \{Pr(P)\} \cup \{Pr(\tilde{F})\}. \quad (3)$$

Для множества процессов, которые будут доминировать и являться определяющими в смысле (3), необходимо:

- разработать подходы к построению имитационных моделей принятия решений;
- обосновать подходы к реализации процессов;
- выделить доминирующие факторы, определяющие степень адекватности процессов (3);
- определить перспективы дальнейших исследований.

## 2 Разработка и обоснование имитационной модели предметной области

Рассматривая информационную технологию в задачах управления сложными объектами, мы, со всей ответственностью, можем заявить:

- модель, в большей или меньшей мере, включает представления об данных предметной области;
- модель должна быть ориентированной на обработку знаний, как составляющей снижения уровня неопределенности;
- модель должна включать средства имитационного моделирования, как объекта снижения уровня неопределенности о процессах;
- модель должна обладать возможностью интерпретации данных и знаний при управлении автоматизированными процессами.

Содержательный анализ существующих решений в смысле (1) – (3), дает возможность определить модель  $S$ , как реализацию процедур утверждения 1.

**Утверждение 1.** Если задана модель  $S$ , то для ее адекватного функционирования необходимы механизмы отображения свойств моделирования и модификации, как результата анализа процессов (2).

Доказательство утверждения 1 непосредственно следует из постановки задачи.

Содержательный анализ сложных объектов, как результата автоматизированного управления процессами (2) дает возможность представить модель (3) в виде (рис. 1).

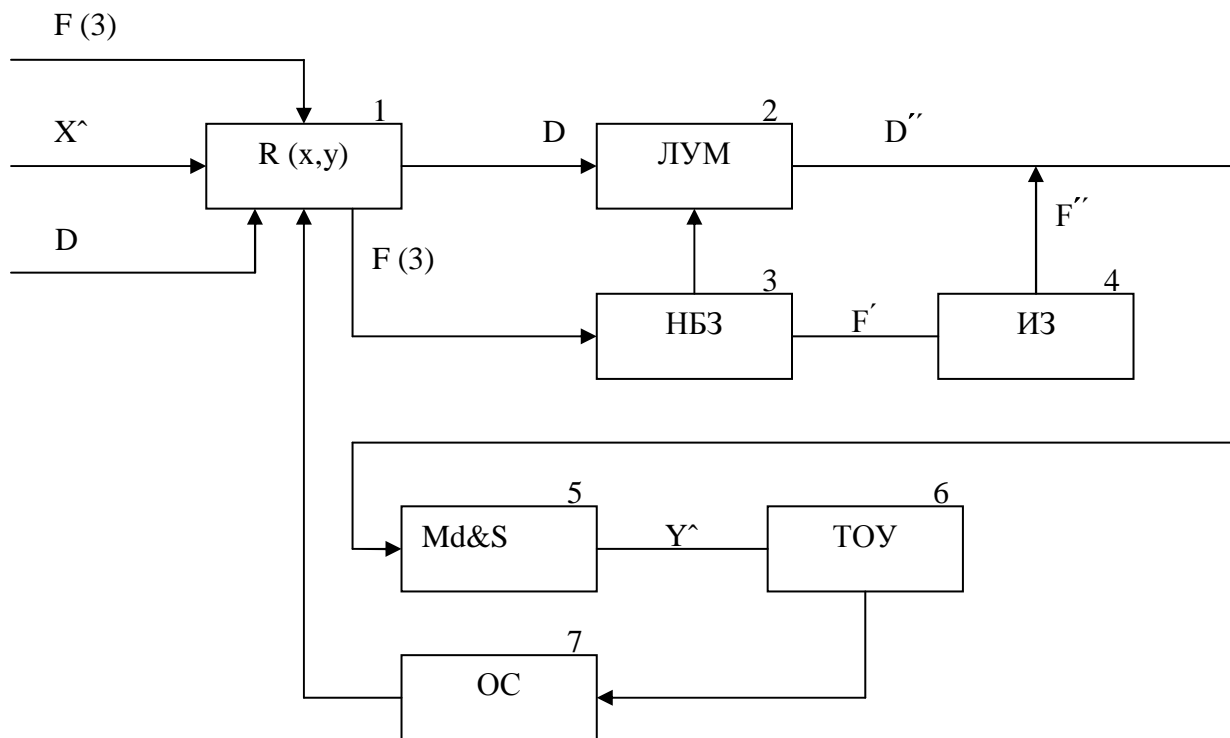


Рис.1 – Структура имитационной модели  
 Авторська розробка

Отобразим составляющие модели (рис. 1):

-  $R(x, y)$  - множество отношений на декартовых произведениях реляционной модели данных (МД). Целесообразность выбора МД [6] обосновывается разработками мировых производителей программных продуктов;

- модель нечеткой базы знаний (НБЗ). Рассматривая пространство состояний объекта (1) в детерминированном  $D$ , вероятностном  $P$ , нечетком  $\tilde{F}$  пространствах состояний и учитывая

уникальность процессов управления (2), определено целесообразным рассмотреть нечеткие процессы.

Пусть заданы, согласно структуры модели НБЗ (рис. 1), два множества  $\tilde{E}_1, \tilde{E}_2$ , причем  $\tilde{x} \in \tilde{E}_1, \tilde{y} \in \tilde{E}_2$ . Тогда нечеткое отношение  $\tilde{R} = \tilde{E}_1 \times \tilde{E}_2$  запишем, как

$$\forall (\tilde{x}, \tilde{y}) \in \tilde{E}_1 \times \tilde{E}_2 \mid \mu_{\tilde{X} \times \tilde{Y}}(\tilde{x}, \tilde{y}) \in \{\mu_i\}. \quad (4)$$

Представив нечеткие отношения (2), мы можем оперировать с лингвистическими представлениями нечетких процессов и их взаимодействиями. Отметим, что рядом исследователей [7] достаточно глубоко проработаны и определены правила выполнения и свойства операций над нечеткими множествами и нечеткими отношениями, некоторые из которых удобно использовать в наших последующих исследованиях.

Рассмотрим особенности построения и использования нечетких лингвистических представлений. Согласно [8] нечеткие лингвистические представления – это формальное представление систем, реализованных посредством условий **ЕСЛИ, ТО** (*if / then*). Хотя нечеткие лингвистические представления обычно формулируются на естественном языке [7], однако они имеют строгие математические основы, вовлекающие нечеткие множества и нечеткие отношения. Кодирование данных и знаний осуществляется на основе инструкций в форме: *if* - набор условий удовлетворен, *then* - набор последствий может быть выведен.

Рассмотрим следующую простую процедуру:

$$\begin{array}{l} \text{if } x \text{ is } \tilde{A} \text{ then } y \text{ is } \tilde{B} \\ x \text{ is } \tilde{A}' \\ \text{-----} \\ y \text{ is } \tilde{B}' - ? \end{array} \quad (5)$$

где известен антецедент  $\tilde{A}'$ , а исход (консеквент)  $\tilde{B}'$  - не известен.

Процедура (4) может быть реализована на основе обобщенного способа прямого логического вывода (GMP) [1] следующим образом:

$$\tilde{B}' = \tilde{A}' \circ \tilde{R}(x, y), \quad (6)$$

где  $\tilde{R}(x, y)$  - отношение, полученное из *if / then* правила (4).

Особенностью процедур (5), (7) является то, что в настоящее время их реализация может осуществляться как на обычных «четких» вычислительных средствах, так и с использованием нечетких специализированных микропроцессоров [9].

При решении практических задач нечеткого управления в [2] предложен оператор Мамдани (Mamdani min)

$$\psi(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(y). \quad (7)$$

Тогда решение (5), с учетом 6), при использовании оператора Мамдани (7) выглядит как

$$\mu_{B'}(y) = \bigvee_x [\mu_{A'}(x) \wedge \mu(x, y)], \quad (8)$$

с последующей дефаззификацией (8) [7] и нахождением приближенного искомого решения (8).

Реализацией процедур согласно НБЗ (5) – (8) является построение процедур имитационного моделирования (ИМ). В ее реализации может быть использование однородных вычислительных модулей (ОВМ) совместно с сетевыми моделями на основе предикатных временных сетей Петри (ПСП).

ОВМ, в общем случае, – это универсальный программный автомат С, называемый вычислительным модулем (ВМ), имеет входной  $Z +$  и выходной  $Z -$  полюсы; ВМ используется для переработки и хранения информации [9].

ОВМ представляет собой композицию автоматов – элементарных машин, каждая из которых имеет множество входных  $X_+ = \{X_{+1}, X_{+2}, \dots, X_{+m}\}$  и выходных

$X_- = \{X_{-1}, X_{-2}, \dots, X_{-m}\}$  полюсов, которая образуется отождествлением выходных полюсов одной машины с входными полюсами  $m$  других машин. При этом осуществляется генерация однородных (регулярных) структур.

ОВМ обычно выполняют стандартные логические функции

$$\vee, \wedge, \neg; \quad (9)$$

и функции алгебры вычислений

$$+, -, \times, \div, \sqrt[n]{}, \Sigma, d(AB), \alpha(AB), a : a \pm k, \quad (10)$$

что делает их очень удобными при обработке и моделировании качественных и количественных данных согласно (9) – (10).

ПСП, используя положения [10], может быть представлено в виде

$$S^{(k)} = \left\langle P, T, F, M_0, L_n, L_k, \{\tau_{i,j}\} \right\rangle, \quad (11)$$

где  $P$  – конечное множество позиций;

$T$  – конечное множество переходов;

$F$  – нечеткая функция инцидентностей –  $F : (P \times T) \cup (T \times P)$ ;

$M_0$  – вектор нечеткого начального маркирования нечетких позиций  $P$ ;

$L_n$  – предикаты, которые относятся к логическим решениям;

$L_k$  – предикаты, которые относятся к пространственным решениям;

$\{\tau_{i,j}\}, i \in I, j \in J$  – множество дискретных временных характеристик, отнесенных к переходам, позициям и компонентам функции инцидентности.

**Замечание 1.** Модель (11) может отображать процессы в детерминированном  $D$ , вероятностном  $P$  и нечетком  $\tilde{F}$  значениях.

**Утверждение 2.** Если существует модель (11) и для всех переходов  $\tilde{t}_i$ , позиций  $p_j$ , компонент из  $F$ , для которых определены временные характеристики  $\{\tau_{i,j}\}, i \in I, j \in J$ , то достижимость множества переходов модели может быть определена как

$$\forall t_i, t_j \in T \mid \tau_i \leq \tau_\alpha^* \wedge L_n = true \wedge L_k = true, N \subset I, K \subset I, \quad (12)$$

где  $\tau_\alpha^*$ ,  $\alpha \in A$  – норма времени для переходов  $A \subset I$ .

Примем во внимание, что  $L_{n,k}$  –  $n$ -местный предикат, который в общем случае может принимать значения

$$L_{n,k} = \begin{cases} 1, & \text{if } L_{n,k} = true, \\ 0, & \text{if } L_{n,k} = false, \end{cases} \quad (13)$$

Тогда справедливость утверждения 2 очевидна, если учесть смысл компонент модели (11).

Данные могут быть представлены в виде информационной нейронной сети (ИНС). ИНС очень широко используются в современных исследованиях по прогнозированию, управлению, распознаванию образов и искусственному интеллекте [11]. На рисунке 2 приведена общая модель многослойного персептрона, где  $X$  – входные значения, а  $Y$  – векторы выходных значений.

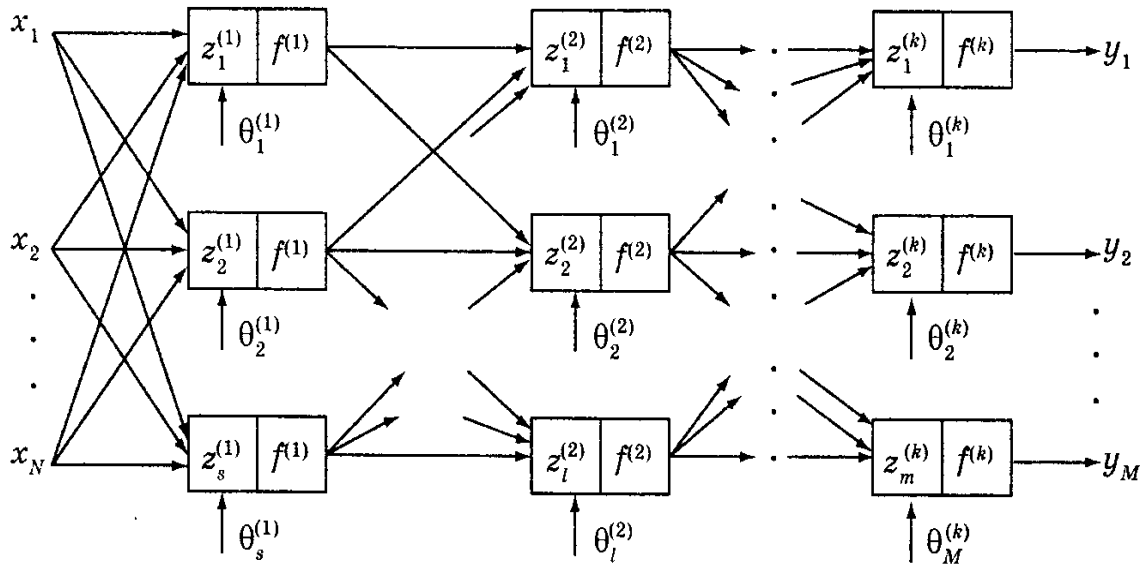


Рис. 2. Модель многослойного персептрона  
 Авторська розробка

Тогда ЛУМ может быть представлена в виде  $S_L = \cup(C, S^{(k)}, ИНС)$ .

Важным содержанием модели является наличие модулей «интерпретация знаний» (ИЗ), а также «модификация данных и знаний» (Md&S).

**Утверждение 3.** Если задана модель (11), в которой определены модули ИЗ, Md&S, то они позволяют адекватно модифицировать и представлять процессы предметной области.

**Замечание 2.** Основными критериями, определяющие адекватность процессов и их взаимодействие, могут быть:

- достижимость заданного пространства из множества состояний -  $Ds$ ;
- полнота множества принимаемых решений -  $Pl$ ;
- непротиворечивость данных и знаний -  $Npt$ .

**Замечание 3.** Для эффективного функционирования процессов утверждения 3 требуются дополнительные исследования в области разработки и обоснования критериев модулей ИЗ и Md&S.

**Утверждение 4.** Если задано множество модулей (рис. 1), то функционально модель процессов может быть предложена в виде

$$S_p = \bigcup_{\Omega} S_{\omega}, \omega \in \Omega. \quad (14)$$

**Замечание 4.** В данном случае символ  $\bigcup_{\Omega}$  определяет некоторую функциональность на

множестве отношений  $R^{(O)}(x, y)$  компонент модели  $S_{\omega}$ .

#### Практическая реализация и перспективы дальнейших исследований

Результатами внедрения положений работы являются высокоавтоматизированные участки механо-, приборозборки современных изделий. Во внедренческих работах для гибридных имитационных моделей и методов была реализована программная версия [12, 13] системы. Ее внедрение подтвердило эффективность рассматриваемых подходов в условиях производственных систем.

Перспективой дальнейших исследований является разработка методов и дальнейшее совершенствование информационных технологий для высокоавтоматизированных производств.

#### **Выводы**

1. Разработаны подходы к построению информационных технологий и имитационных моделей принятия решений на основе разработки и детализации новой гибридной имитационной модели.

2. Рассмотрены и обоснованы подходы к реализации процессов и моделей в условиях современных информационных технологий.

3. Предложена структура доминирующих факторов, определяющих степень адекватности процессов, дальнейшая реализация которых является перспективой дальнейших исследований в практических приложениях.

1. Бодянский Е. В. Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем / Е. В. Бодянский, Е. И. Кучеренко, А. И. Михалев. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. – 311 с.
2. . Нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах / Е. В. Бодянский, В. Е. Кучеренко, Е. И. Кучеренко и др. // Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. – 412 с.
3. Кельтон В. Имитационное моделирование. Классика CS / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб. : Питер : Киев : Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
4. Кучеренко Е. И. О методах, моделях и критериях принятия решений в пространственно-распределенных объектах/ Е. И. Кучеренко, И. С. Глушенкова// Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – 2009. – № 13 (43). - С. 102–107.
5. . Кучеренко Е. И. Модели процессов оценивания состояния сложных пространственно распределенных объектов / Е. И. Кучеренко, И. С. Глушенкова // Системы обработки информации. – 2011. – № 2(92) – С. 93–101.
6. Джарратано Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратано, Г. Райли. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 1152 с.
7. Tsoukalas L. H. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering / L. H. Tsoukalas, R. E. Uhrig. – New York: John Wiley&Sons.Inc, 1997. – 587 p.
8. Яхьяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Г. Э. Яхьяева. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 316 с.
9. Principles of Geografic Information Systems / Editor R. A. de By. – The Netherlands: Enschede, ITC, 2001. – 490 p.
10. Кучеренко Є. І. Сіткові моделі в задачах аналізу складних систем / Є. І. Кучеренко – Харків: ХТУРЕ, 1999. – 100 с.
11. Тарасенко О.П. Трохимчук С.Н. Нейронно-мережні моделі якості. Монографія. Харків: УПА, 2013. -115с.
12. Шилдт Г. Полный справочник по Java / Г. Шилдт. М. : Издательство «Вильямс», 2009. - 1040 с.
13. Гома Х. UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений / Х. Гома. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 704 с.