

УДК 004.891: 004.032.26: 004.838.3

UDC 004.891: 004.032.26: 004.838.3

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ГИБРИДИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
МЕТОДОВ НА ПРИМЕРЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ  
ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ  
ПРЕЦЕДЕНТОВ**

**EVALUATION OF EFFICIENCY OF  
HYBRIDIZATION OF THE INTELLIGENT  
METHODS ON THE EXAMPLE OF THE  
NEURAL NETWORK EXPERT SYSTEM BASED  
ON PRECEDENTS**

Малыхина Мария Петровна  
к.т.н., профессор

Malykhina Maria Petrovna  
Cand.Tech.Sci., professor

Бегман Юлия Викторовна  
к.т.н.  
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный  
технологический университет», Краснодар,  
Россия*

Begman Yulia Viktorovna  
Cand.Tech.Sci.  
*Kuban State Technological University, Krasnodar,  
Russia*

В статье рассматривается способ организации работы интеллектуальной системы на основе гибридизации нескольких технологий интеллектуальных вычислений. Приведена модель гибридной системы. Доказана эффективность применения предлагаемого подхода

The article discusses the ways of working of an intelligent system based on hybridization of several technologies of intelligent computations. A model of the hybrid system is represented. The effectiveness of the proposed approach has been proved

Ключевые слова: ГИБРИДНАЯ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА,  
ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА, НЕЙРОННАЯ СЕТЬ,  
НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА, ПРЕЦЕДЕНТ

Keywords: HYBRID INTELLIGENT SYSTEM,  
EXPERT SYSTEM, NEURAL NETWORK, FUZZY  
LOGIC, PRECEDENT

**Введение.** Разработки в области гибридных интеллектуальных систем (ГИС) являются на сегодняшний день одним из актуальных направлений в тех областях, где решение задач традиционными математическими способами и алгоритмами не дает необходимых результатов. Известно несколько путей интеграции технологий экспертных систем (ЭС) и нейронных сетей [1,7,8]:

- 1) интеграция в ГИС;
- 2) разработка коннекционистских экспертных сетей и унифицированных нейросетей;
- 3) повышение качества знаний за счет использования нейросетей;
- 4) извлечение правил из обученных нейросетей для использования в ЭС или трансляция правил предметной области в нейросеть;
- 5) интеграция знаний о предметной области в нейросетях;
- 6) конвертирование нейросетей в деревья решений или наоборот.

**Постановка и решение задачи.** Целью работы является обоснование эффективности применения технологий гибридизации в области интеллектуальных систем. Задача работы – предложить новый способ гибридизации интеллектуальных вычислений и доказать его практическую значимость.

**Модель интеллектуальных вычислений в гибридной системе.** В технологии экспертных систем и нейронных сетей используются различные модели вычислений. Модель вычислений в экспертных системах приведена ниже [2]:

$$ES = \langle KB, FB, RB, I^e, R^e \rangle, \quad (1)$$

где  $KB$  – база знаний в форме продукционных правил;  $FB$  – база фактов о системе  $S$ ;  $RB$  – база выводов, формируемая интерпретатором в ходе работы, содержащая информацию о причинах изменений в базе выводов и комментарии, внесенные экспертом в базу знаний для объяснений;  $R^e$  – системообразующие отношения;  $I^e$  – интерпретатор, представленный четверкой циклически выполняемых последовательно процессов:

$$I^e = \langle I^{e1}, I^{e2}, I^{e3}, I^{e4} \rangle, \quad (2)$$

где  $I^{e1}$  – процесс выбора из базы знаний подмножества активных правил;  $I^{e2}$  – процесс сопоставления с образцом для активных правил;  $I^{e3}$  – процесс разрешения конфликтов правил;  $I^{e4}$  – процесс выполнения правила, т.е. использование его в рассуждениях.

Модель нейровычислений представима следующим образом [1]:

$$NN = \langle Ar, X, Y, M^n, Ed, I^{n1}, I^{n2} \rangle, \quad (3)$$

где  $Ar$  – архитектура нейросети;  $X, Y$  – множества входов и выходов нейросети;  $M^n$  – множество моделей нейронов;  $Ed$  – обучающая и тестирующая последовательности;  $I^{n1}, I^{n2}$  – интерпретаторы обучения и нейровычислений соответственно.

Таким образом, интегрированная нейро-экспертная модель вычислений будет иметь следующий вид [2]:

$$NES = \langle KB, X, Y, Ed, R', I^{n1}, I^{n2} \rangle, \quad (4)$$

где  $R'$  – новый набор системообразующих отношений.

Полученная нейросетевая модель ЭС способна сохранять опыт системы в целом в неявном виде. Для извлечений ответа необходимо проводить опрос системы и производить нейровычисления. Это не всегда является лучшим решением для некоторых задач. Хранить опыт интеллектуальной системы в явном виде способны системы, основанные на прецедентах. Прецедент включает: проблемную ситуацию, которая описывает состояние исследуемого процесса, когда произошел прецедент; решение этой проблемы; результат, который описывает состояние исследуемого процесса после произошедшей проблемной ситуации [4]. Модель вычислений с использованием методов рассуждений на основе прецедентов имеет следующий вид [1,2]:

$$PS = \langle KB_1, KB_2, A(p), I^p \rangle, \quad (5)$$

где  $KB_1, KB_2$  – базы единиц прецедентов и общих знаний о предметной области;  $A(p)$  – алгоритм поиска похожих прецедентов  $p$ .

Интерпретатор  $I^p$ , используя  $A(p)$  и  $KB_2$ , обрабатывает информацию в базе прецедентов  $KB_1$ , и представляет собой совокупность процессов:

$$I^p = \langle I^{p1}, I^{p2}, I^{p3}, I^{p4} \rangle, \quad (6)$$

где  $I^{p1}$  – обнаружение;  $I^{p2}$  – адаптация;  $I^{p3}$  – пересмотр;  $I^{p4}$  – сохранение.

Если включить в модель нейросетевой ЭС вычисления на основе прецедентов, то полученная ГИС окажется более функциональной, сохранив при этом свою гибкость [2]:

$$NES^p = \langle KB, KB_p, A(p), R'', I^{np}, I^{n2}, I^p \rangle. \quad (7)$$

В нейросетевой экспертной системе на основе прецедентов (НЭСП)

база знаний содержит знания в виде продукций  $KB$  и в виде прецедентов  $KB_p$ ;  $R''$  – системообразующие отношения новой ГИС. Поиск решений в новой системе разбивается на нейросетевой  $I^{n2}$  и прецедентный  $I^p$  с  $A(p)$ – алгоритмом определения похожих прецедентов. Обучение нейросети  $I^{np}$  производится на основе данных из прецедентов.

Работоспособность представленной гибридной модели подтверждается исследованиями, проведенными ранее авторами работы[3]. Предложенная модель гибридной интеллектуальной системы была применена в области решения проблем абонентов сотовой сети.

*Нейросетевая экспертная система на основе прецедентов.* В общей структуре НЭСП главенствует основной модуль-интегратор, который управляет взаимодействием интеллектуальных и программных модулей. Интеллектуальная подсистема включает следующие компоненты:

– модуль приобретения знаний – включает анализ и извлечение входной информации из базы данных абонентов (БДА); входные данные преобразуются в форму прецедента или в форму продукционного нечеткого правила;

– база знаний прецедентов (БЗП);

– продукционная нечеткая база знаний (ПНБЗ) содержит правила в форме нечетких продукций;

– механизм поиска по прецедентам (МПП);

– блок обучения нейронной сети – преобразует правила из ПНБЗ в обучающие выборки для нейронной сети;

– нейро-нечеткий механизм (ННМ) – программный блок, реализующий структуру нечеткого контроллера на основе нейронной сети;

– блок объяснений решения;

– блок адаптации данных (АД) – преобразует результат нейросетевого поиска решения в форму нового прецедента.

На рисунке 1 представлена структурная схема НЭСП.



Рисунок 1. Структура нейросетевой экспертной системы на основе прецедентов

Модель подсистемы обслуживания абонентов можно представить, согласно [4], в виде нелинейного объекта с множеством входных  $\{x_i\}$  и выходных переменных  $\{y_k\}$ :

$$\begin{cases} \{x_i\}, i = \overline{1, n}; \\ \{y_k\} = f_y(x_1, x_2, \dots, x_n), k = \overline{1, q} \end{cases} \quad (8)$$

Входные переменные представляют собой характеристики проблемы, которая возникла у абонента. В качестве выходных переменных выступают причины, повлекшие возникновение проблемы. Входные  $\{x_i\}, i = \overline{1, n}$  и выходные  $\{y_k\}, k = \overline{1, q}$  переменные могут принимать только качественные значения, причем известно множество всех возможных значений этих переменных:

$$U = \{u_j, u_{j+1}, \dots, u_m\}, \quad (9)$$

где  $u_j$  – оценка наименьшего значения входной  $x_i$  (или выходной  $y_k$ ) переменной;  $u_m$  – оценка, соответствующая наибольшему значению входной  $x_i$  (или выходной  $y_k$ ) переменной;  $m$  – мощность множества  $U$ .

Структура прецедента из БЗП включает общие данные о моменте регистрации прецедента, данные, характеризующие возникшую проблему, принятое решение и описание результата выбора решения (проблема ликвидирована или нет).

Функциональная схема НЭСП (Рисунок 2) включает ряд этапов [3].

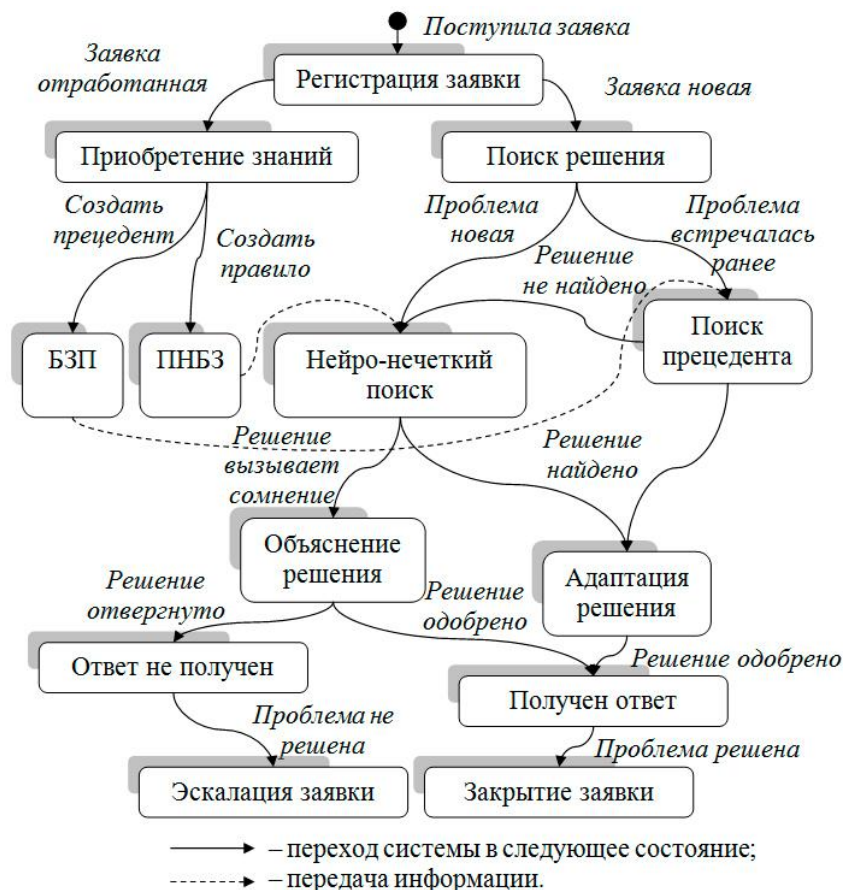


Рисунок 2. Функциональная схема НЭСП

Сначала выполняется процедура сбора первичных данных – принятие и регистрация заявки абонента в подсистеме обслуживания абонентов. Следующий (интеллектуальный) этап работы НЭСП включает два режима: 1 – режим приобретения знаний и настройка интеллектуальных компонентов; 2 – режим поиска решения (поиск по прецедентам и нейро-нечеткий поиск).

Поиск решения с помощью базы знаний прецедентов (Рисунок 3) работает с использованием евклидовой метрики [5].

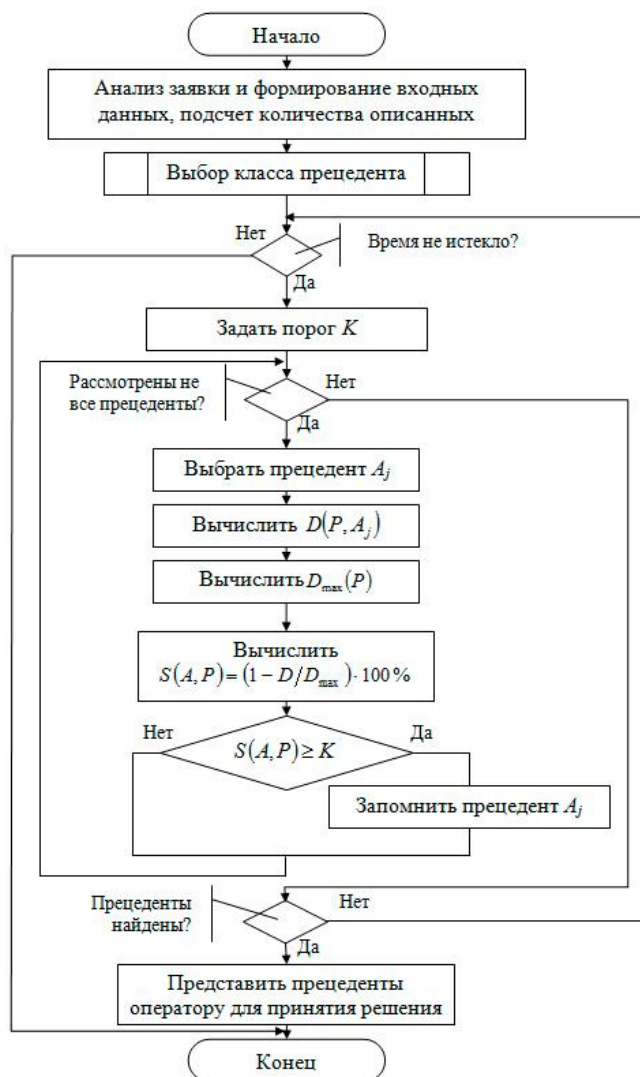


Рисунок 3. Алгоритм поиска прецедента

Входными данными для алгоритма являются: описание проблемы  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , включающее  $n$  значений параметров, характеризующих проблему абонента;  $BP$  – непустое множество прецедентов;  $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$  – веса (коэффициенты важности) параметров;  $M$  – количество рассматриваемых прецедентов из БЗП;  $K$  – пороговое значение степени сходства. Выходные данные: множество прецедентов  $SP$ , которые имеют степень сходства больше (или равную) порогового значения  $K$ .

Если проблема ранее не решалась и прецедент отсутствует в БЗП, то задание передается на вход нейро-нечеткого механизма, реализованного на основе нейросети NNFLC (Neurons Network Fuzzy Logic Controller) [6].

Обобщенный алгоритм обучения нечеткой нейронной сети (ННС) для системы НЭСП представлен на рисунке 4 [3,6].

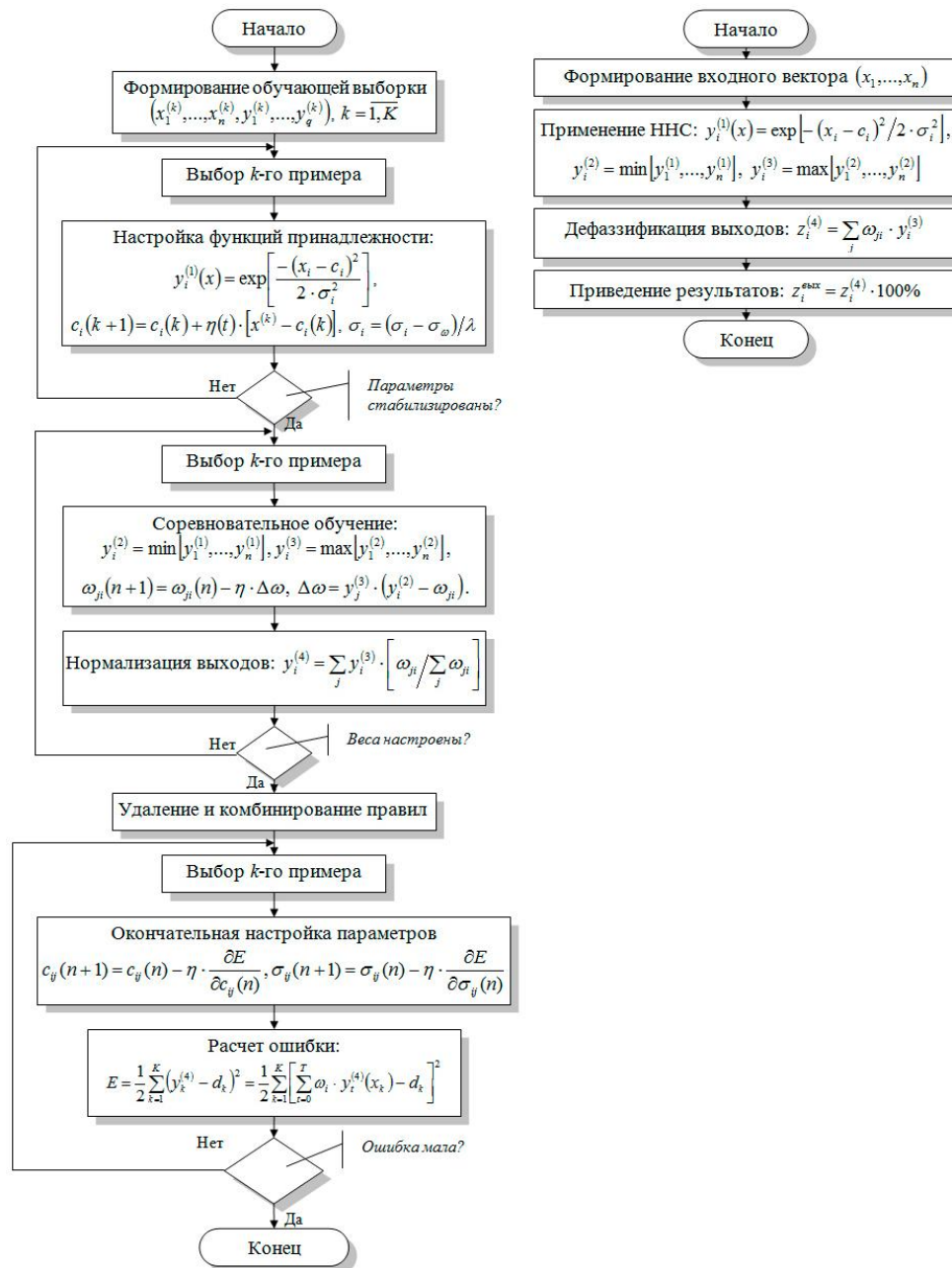


Рисунок 4. Алгоритмы обучения нечеткой нейронной сети NNFLC (слева) и нейросетевого поиска решения проблемы (справа)

Когда ННС обучена, она используется в рабочем режиме для поиска решения проблемы абонента (см. рисунок 4). Используемые обозначения:  $x_i^{(k)}$  – значения входных переменных  $x_i$  ( $i = \overline{1, n}$ );  $y_j^{(k)}$  – значения выходных



переменных  $y_j$  ( $j = \overline{1, q}$ ) в  $k$ -ом примере;  $d_k$  – эталонные значения выходных переменных в  $k$ -ом примере;  $K$  – общее число примеров в обучающей выборке;  $c_i$  – центры и  $s_i$  – ширина для функций принадлежности;  $w_{ji}$  – матрица весов связей;  $h(t)$  – монотонно убывающий уровень обучения;  $\lambda$  – параметр перекрытия.

**Оценка эффективности.** Тестирование НЭСП показало, что предлагаемый подход к интеграции трех технологий интеллектуальных вычислений является эффективным для решения интеллектуальных задач в системах сотовой связи. Метод тестирования системы, структура и состав тестовых данных приведены в [3]. Результаты тестирования программных средств системы представлены в таблице.

Таблица – Результаты тестирования НЭСП

Показатель	Интеллектуальная подсистема		Неинтеллектуальная часть системы	Система в целом
	Поиск по прецедентам	Нейросетевой поиск		
Общее число заявок абонентов	347	471	572	1390
	818			
Коэффициент выявления причин проблем	93,37%	100,00%	91,96%	95,11%
	96,69%			
Коэффициент необработанных заявок	6,63%	0,00%	8,04%	4,96%
	6,63%			
Коэффициент точности идентификации причин проблем	96,50%	99,72%	81,33%	92,52%
	98,11%			
Продолжительность обработки заявок (час.)	35,16	24,54	143,00	168
	59,59			
Продолжительность поиска решения	1,39	0,59	12,45	4,51
	1,09			
Средняя продолжительность обработки заявки	5,54	3,13	15	7,59
	4,33			

Высокие показатели эффективности использования ГИС типа НЭСП позволяют подтвердить работоспособность предложенной модели и

расширить круг применения системы: интеллектуальная система с типом гибридизации НЭСП может быть применима в различных областях деятельности, связанных с принятиями решений, в качестве системы поддержки принятия решений.

**Заключение.** Данная работа позволяет оценить высокую значимость применения интеллектуальных технологий в областях, где решение задач традиционными математическими способами и алгоритмами не дает ожидаемых результатов. Более того, доказана эффективность применения гибридизации интеллектуальных методов с целью улучшения показателей работоспособности систем интеллектуального поиска данных.

### Литература

1. Колесников А.В., Кириков И.А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М., ИПИ РАН, 2007. 387 с.
2. Малыхина М.П., Бегман Ю.В. Нейросетевая экспертная система на основе прецедентов для решения проблем обслуживания абонентов сотовой сети. Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. – Новочеркасск. №3. 2009. С. 6 – 9.
3. Малыхина М.П., Бегман Ю.В. Нейросетевая экспертная система на основе прецедентов для решения проблем абонентов сотовой сети: монография. Краснодар: Юг, 2011. 148 с.
4. Варшавский П.Р. Реализация метода правдоподобных рассуждений на основе прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Труды 10 национальной конференции по ИИ с международным участием КИИ-2006. В 3-х т. М.: Физматлит., 2006. Т.1. С. 303 – 311.
5. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика. / Батыршин И.З., Недосекин А.О., Стецко А.А., Тарасов В.Б., Язенин А.В., Ярушкина Н.Г.; Под ред. Ярушкиной Н.Г. М.: Физматлит, 2007. 208 с.
6. Бегман Ю.В. Нейросетевой подход к решению проблем абонентов сотовых сетей. // Materiały VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Dynamika naukowych badań - 2011»/ Volume 18/ Matematyka. Nowoczesne informacyjne technologie. Budownictwo i architektura: Przemysł, 2011. С. 29 – 31.
7. Симанков В.С., Частикова В.А. Генетические алгоритмы и поиск оптимальных решений // Автоматизация и современные технологии. 2003. №6. С. 36 – 45.
8. Частикова В.А. Идентификация механизмов реализации операторов генетического алгоритма в экспертных системах производственного типа / В.А. Частикова // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. №75(01). – Шифр Информрегистратора: 0421200012/0024. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/01/pdf/17.pdf>.