

---

---

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

---

---

УДК 004.8

## АЛГОРИТМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕЛЕВОГО КОМПОНЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

И. Ф. Астахова\*, Е. И. Киселева\*\*

*\*Воронежский государственный университет*

*\*\*Воронежский государственный педагогический университет*

Поступила в редакцию 13.05.2017 г.

**Аннотация.** В статье представлена математическая модель системы обучения и контроля, включающей теоретическую и практическую части. Универсальность системы заключается в ее независимости от конкретного предметного содержания, которая позволяет преподавателю загружать требуемый курс, а обучающемуся выбирать индивидуальную траекторию обучения. Рассмотрен алгоритм оптимизации полученной целевого компонента системы с использованием искусственной иммунной системы.

**Ключевые слова:** математическая модель системы обучения и контроля, оптимизация целевого компонента; искусственная иммунная система.

**Annotation.** The paper presents a mathematical model of the system of training and control, including theoretical and practical parts. The versatility of the system lies in its independence from specific subject content, which allows the instructor to load the course and the trainee to choose individual learning path. Considered an optimization algorithm obtained the target component of the system using artificial immune system.

**Keywords:** mathematical model of the system of training and control, optimization of the target component; artificial immune system.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время получили распространение различные обучающие системы, основанные на применении информационно-коммуникационных технологий. Они различаются по множеству параметров: по степени распределения функции управления между пользователем и системой (в одних пользователь может самостоятельно выбирать траекторию своего продвижения внутри системы, а в других эта функция частично или полностью возложена на компьютер); по степени сочетания теоретической и практической составляющей; наличию или

отсутствию контролирующей функции. Создатели различных систем выбирали сочетание параметров, соответствующее назначению системы. Однако все системы обучения информационным технологиям в процессе использования имеют потенциальную возможность накапливать статистическую информацию о траектории движения обучающихся по комплексу, о допущенных ими в процессе работы ошибках, об успешности прохождения контрольных заданий и т. д.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы являлось проектирование системы обучения и контроля, которая предоставляет пользователю возможность исполь-

---

© Астахова И. Ф., Киселева Е. И., 2017

зовать накопленные данные для оптимизации целевого и содержательного компонента. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: создание математической модели обучающей системы; выбор средств для реализации и оптимизации полученной модели. Для разработки автоматизированной обучающей системы была выбрана гибридная система, так как она сочетает в себе преимущества различных технологий, которые позволяют решить каждую из задач оптимальным способом. Гибридной системой называется система, сочетающая две или более различных компьютерных технологии [1]. Основой для создания ее математической модели являлась параметрическая модель учебного процесса В. М. Монахова [4]. Выбраны следующие пять параметров, целостно отображающие закономерности учебного процесса: целеполагание (система микроцелей); диагностика; дозирование самостоятельной деятельности учащихся; логическая структура проекта; коррекция.

Цель изучения конкретного раздела учебного содержания представляет собой систему микроцелей, для каждой из которых должен быть установлен факт достижения с помощью диагностики. Диагностика представляет собой набор обязательных для выполнения учебных заданий. Если диагностические задания не выполнены, проводится коррекция, с последующей новой проверкой. Дозирование самостоятельной работы представляет собой вариативный набор содержания, которое предлагается учащемуся в процессе освоения конкретного учебного раздела.

## МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Математическую модель гибридной образовательной системы можно представить следующим образом:

$$URS = \langle S, PP, T, CK, RR \rangle, \quad (1)$$

где  $S$  – процесс обучения;  $PP$  – профили обучающихся и преподавателей;  $T$  – траектория обучения;  $CK$  – модель текущих знаний учащегося;  $RR$  – профиль учебного курса [2, 3]. Для хранения персональной информации используются профили обучающихся и препода-

вателей. Траектория обучения – это информация о том, как обучаемый перемещается в пространстве обучающей системы.

В соответствии с параметрической моделью учебного процесса В. М. Монахова, мы разработали следующую модель учебного процесса в гибридной системе обучения ( $S$ ) представляет собой:

$$S = \langle G, CT, EM, Q \rangle, \quad (2)$$

где  $G$  – целеполагание, представляющее собой дерево учебных микроцелей;  $CT$  – дерево курса, соответствующее логической структуре процесса обучения;  $EM$  – учебное содержание, использующихся для коррекции и дозирования самостоятельной работы обучающихся;  $Q$  – параметр диагностики, содержащий множество контрольных заданий. Модель множества учебных целей выглядит следующим образом:

$$G = \langle GN, GS \rangle, \quad GN = \{g_l\}, \quad (3)$$

где  $G$  – дерево учебных микроцелей;  $GN$  – множество вершин дерева учебных целей;  $GS$  – множество ребер дерева, отражающее иерархические связи между учебными целями;  $g_l$  – учебная микроцель.

Компоненты этой модели, представленные в виде графов могут быть оптимизированы с использованием соответствующих алгоритмов. Для оптимизации системы микроцелей (целевого компонента) нами была использована искусственная иммунная система для оптимизации многокритериальной функции [7]. В работе [5] предложен универсальный подход, который состоит из модели искусственной иммунной системы и алгоритма. Модель искусственной иммунной системы можно представить как совокупность следующих элементов:

$$IIS = \langle L, G1, A, \mu, S1 \rangle,$$

где  $IIS$  – искусственная иммунная система;  $L$  – пространство всех возможных элементарных компонент (лимфоцитов). В зависимости от задачи, лимфоцит может представлять собой строку, список координат, дерево выражения;  $G1$  – множество всех возможных антигенов. В зависимости от задачи, антиген может быть строкой, матрицей логических значений, списком значений функции в известных точ-

ках;  $A: L \times G1 \rightarrow [0, 1]$  – заданная мера аффинности, которая каждому лимфоциту и каждому антигену ставит в соответствие число из отрезка  $[0, 1]$ , которое показывает, насколько хорошо данный лимфоцит реагирует на поданный антиген;  $\mu: L \rightarrow L$  – оператор мутации, применяемый к отдельному лимфоциту с целью улучшения его свойства распознавания;  $S1: A \subset L \rightarrow B \subset A \subset L$  – оператор селекции, содержащий механизм, оставляющий в текущей иммунной системе лучшие лимфоциты, поддерживая размер сети. Под аффинностью иногда понимают функцию приспособленности или функцию пригодности, или целевую функцию.

Предложен общий алгоритм реализации модели иммунной системы, который является составной частью единого подхода.

Этот алгоритм можно представить в виде последовательности следующих шагов [5]:

1) Выбирается начальная популяция –  $ImSystem \subset L$ . Для всех лимфоцитов вычисляется степень приспособленности к антигену (аффинность).

2) Подается  $g \in G1, \forall l \in ImSystem: a_l = A(l, g)$ .

3) Находится наилучший лимфоцит – текущее решение:  $l^* = \arg \max(a_l)$ .

4) К лимфоцитам применяется оператор мутации:  $M = \{\mu(l), l \in ImSystem\}$ , который вносит небольшие изменения в структуру лимфоцитов.

5) Для сохранения размера сети применяется оператор селекции, который из текущего набора лимфоцитов и множества мутировавших лимфоцитов (полученного на шаге 4):  $ImSystem = S(ImSystem \cup M)$ .

6) Если решение  $l^*$  удовлетворяет заданному критерию или достигнуто максимальное число итераций – выход, иначе – возврат к шагу 2.

Таким образом получаем, что на каждом шаге аффинность лучших лимфоцитов не уменьшается, а только растет, и если после определенного числа итераций аффинность не меняется, то алгоритм также прекращает работу, так как найдено решение (глобально или локально оптимальное).

В нашей работе в качестве лимфоцитов рассматривались связные ориентированные

графы, вершинами которых являлись цели изучения подразделов учебной темы (микроцели), а дугами – связи между ними. В качестве антигена был выбран двумерный массив, в котором хранятся данные о наличии связи между микроцелями и оценка тесноты этой связи – число из промежутка  $[0, 1]$ . Начальный набор лимфоцитов генерируется случайным образом. Затем для всех лимфоцитов высчитывается мера аффинности, которая учитывает данные о тесноте связи между лимфоцитами. Определенная часть лимфоцитов с наихудшими показателями удаляется, к оставшимся применяется операция мутации. В качестве мутации случайным образом может быть выбран один из следующих вариантов: обмен значениями микроцелей одного уровня внутри лимфоцита; обмен подмножествами дерева между двумя лимфоцитами. Мутировавшие лимфоциты присоединяются к текущему набору. Чтобы поддержать текущее число лимфоцитов в наборе, часть лимфоцитов с наихудшим значением аффинности удаляется. Процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто заданное число итераций или достигнуто приемлемое значение аффинности. Результатом является лимфоцит из текущего набора с наибольшим значением аффинности [5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Алгоритм оптимизации целевого компонента выглядит следующим образом:

1. Создается дерево микроцелей каждой темы курса.

2. На основе полученных на предыдущем шаге данных заполняется таблица взаимосвязи микроцелей курса. На первом этапе могут быть использованы экспертные оценки преподавателей, создающих учебный курс.

3. Полученные оценки взаимосвязи уточняются с помощью данных, полученных методами нечеткой логики [6]. Так, например, увеличивается вес взаимосвязи с другими микроцелями тех микроцелей, для которых прогнозированы трудности в достижении учащимися.

4. Создается искусственная иммунная система для оптимизации системы микроцелей.

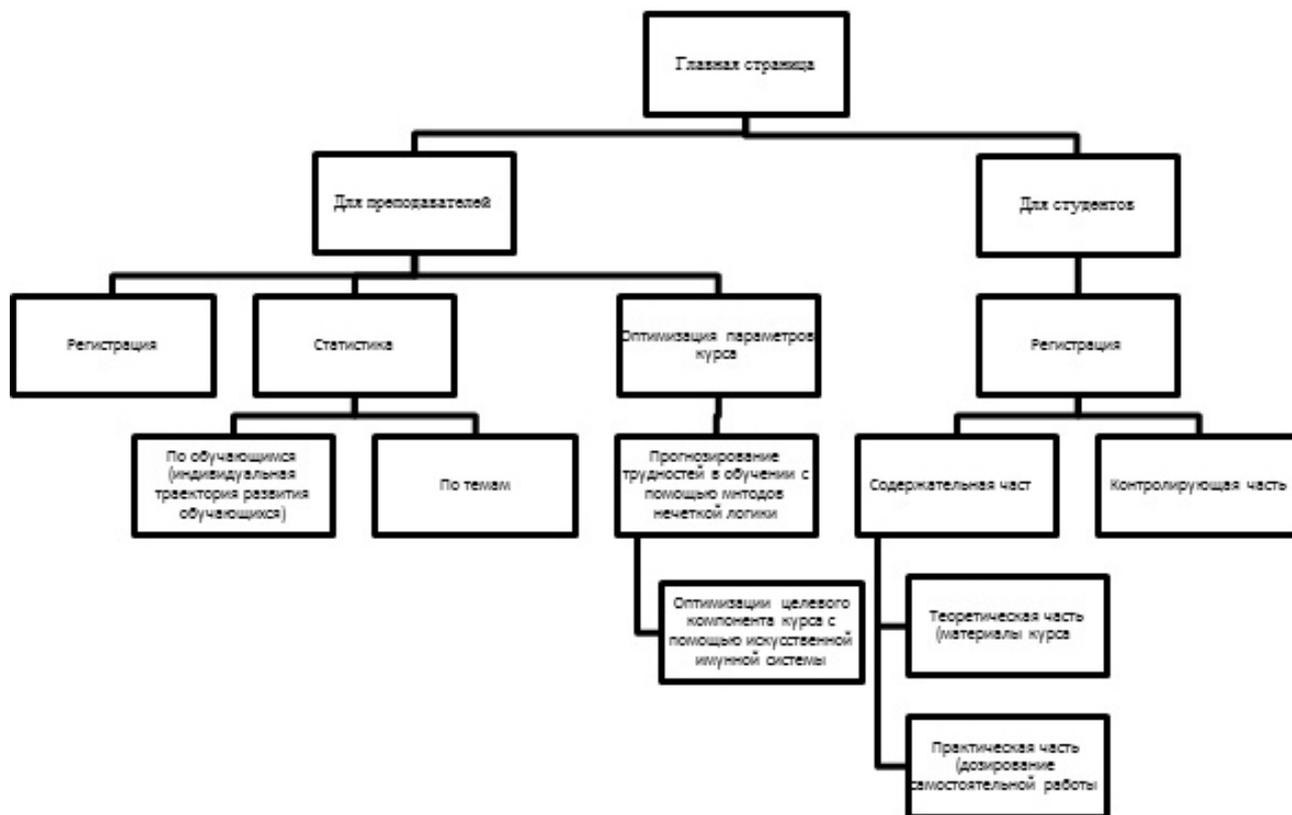


Рис. 1. Интерфейс пользователя информационной образовательной системы

Интерфейс системы представлен на рис. 1.

Пользователь, зарегистрированный как преподаватель, имеет доступ к накопленной статистике курса, имеет возможность выполнить прогнозирование трудностей освоения материала обучающимися на основе методов нечеткой логики, а затем выполнить оптимизацию системы микроцелей курса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе описана гибридная система, используемая для обучения студентов и контроля их знаний. Рассмотренная в статье математическая модель гибридной системы обучения и контроля предоставляет возможность оптимизации процесса обучения по различным параметрам с использованием статистической информации, полученной в процессе функционирования системы, чему способствует структура параметров системы, представленная в виде различных графов.

Особенностью системы является использование нескольких компьютерных технологий для ее разработки, а именно, иммунных

систем и нечеткой логики. Аппарат нечеткой логики позволяет при небольшом количестве информации оптимизировать целевой компонент учебного курса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельникова А. А. Инструментальные средства моделирования учебных мультимедиа комплексов. дисс. ... кандидата технических наук. – Самара, 2004.
2. Roberts F. S. Discrete Mathematical Models, with applications to social, biological and environmental problems. – Prentice-Hall, 1976.
3. Holland J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems, Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.
4. Монахов В. М. Технологические основы проектирования и конструирования учебного процесса. – Волгоград : Перемена, 1995.
5. Ушаков С. А. Разработка и исследование алгоритмов решения задач распознавания на основе искусственных иммунных систем. 05.13.17, автореф. дис. ... кандидата технических наук. – Воронеж, 2015.

6. Астахова И. Ф. Разработка нечеткой модели прогнозирования устойчивости грунтового массива / И. Ф. Астахова, А. И. Шашкин, Е. А. Коробкин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2015. – № 1.

**Астахова И. Ф.** – д-р техн. наук, профессор кафедры математического обеспечения ЭВМ, факультет прикладной математики, информатики и механики, Воронежский государственный университет.  
E-mail: [astachova@list.ru](mailto:astachova@list.ru)

**Киселева Е. И.** – ассистент кафедры педагогики и методики дошкольного и начального образования, психолого-педагогический факультет, Воронежский государственный педагогический университет.  
E-mail: [ekaterkisel@mail.ru](mailto:ekaterkisel@mail.ru)

7. Астахова И. Ф. Составление расписания учебных занятий на основе генетического алгоритма / И. Ф. Астахова, А. М. Фирас // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2013. – № 2.

**Astachova I. F.** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Hardware, Faculty of Applied Mathematics, Informatics and Mechanics, Voronezh State University.  
E-mail: [astachova@list.ru](mailto:astachova@list.ru)

**Kiseleva E. I.** – Assistant of the Department of Pedagogy and Methods of Preschool and Primary Education, Psychological and Pedagogical Faculty, Voronezh State Pedagogical University.  
E-mail: [ekaterkisel@mail.ru](mailto:ekaterkisel@mail.ru)