

УДК 004.8

DOI 10.25559/SITITO.2017.4.419

Астахова И.Ф.¹, Киселева Е.И.²¹ Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия² Воронежский государственный педагогический университет, г. Воронеж, Россия**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИБРИДНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ****Аннотация**

В статье представлена 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. Гибридной системой называется система, сочетающая две или более различных компьютерных технологий. Рассмотрен алгоритм оптимизации полученной целевого компонента системы с использованием искусственной иммунной системы.

Ключевые слова

Математическая модель системы обучения и контроля; оптимизация содержательного компонента обучения; искусственная иммунная система.

Astachova I.F.¹, Kiseleva E.I.²¹ Voronezh State University, Voronezh, Russia² Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russia**USE OF THE ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM IN DESIGNING A HYBRID TRAINING SYSTEM****Abstract**

The article presents a model of the system of training and control, including theoretical and practical parts. The universality of the system lies in its independence from the specific subject content, which allows the instructor to load the required course, and the learner to choose an individual trajectory of learning. A hybrid system is a system that combines two or more different computer technologies. An algorithm for optimizing the obtained target component of the system using an artificial immune system is considered.

Keywords

Mathematical model of the training and control system; optimization of the content component of training; 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., которую можно использовать для оптимизации функционирования комплекса.

Цель работы

Целью работы являлось проектирование гибридной системы обучения и контроля,

которая предоставляет пользователю возможность использовать накопленные данные для оптимизации целевого и содержательного компонента обучения. 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 [2]. 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

Модель гибридной обучающей системы представлена на рисунке 1.

Каждый из компонентов представлен в нескольких разделах обучающей системы. Целевой компонент проявляется в построении дерева целей курса, компоненты которого определяют содержание микроцелей. Прогнозирование с использованием нечеткой логики позволяет определить те разделы содержания, которые вызывают наибольшие затруднения у обучающихся, что позволит скорректировать содержание микроцелей. Содержательный компонент включает в себе теоретический и практический материал, который определяется параметром дозирования в учебном процессе. Контролирующая часть соответствует параметру диагностики в учебном

процессе. Использование сети Кохонена позволяет классифицировать обучающихся по трем параметрам: не прошедшие диагностику, показавшие знания на уровне образовательных стандартов и показавшие уровень знаний выше образовательных стандартов. Статистический компонент позволяет сохранять сведения о траектории обучающихся, которые составляют компонент «информационная карта развития учащегося».



Рис1. Модель гибридной обучающей системы

Для классификации обучающихся использовали нейросетевые технологии. Под классификацией понимают разбиение объектов на несколько множеств, число которых может быть заранее неизвестно. Для решения этой задачи использовалась сеть Кохонена. Эта сеть состоит из одного слоя нейронов и обучается без учителя, на основе самоорганизации.

Для повышения эффективности целеполагания, диагностики и коррекции использованы методы нечеткой логики с целью определения разделов курса, которые представляют наибольшее затруднение для обучающихся.

Для оптимизации системы микроцелей (целевого компонента) использована искусственная иммунная система. Искусственная иммунная система относится к генетическим алгоритмам, что делает ее пригодной для оптимизации многокритериальной функции [3]. Модель искусственной иммунной системы

рассматривается в работе [4] как совокупность следующих элементов: пространство лимфоцитов, множество антигенов, заданная мера аффинности, которая показывает степень соответствия каждого лимфоцита антигенам, операторы мутации и селекции. Алгоритм работы искусственной иммунной системы представлен в [4] следующим образом:

Формируется начальная иммунная система. Для всех лимфоцитов вычисляется степень приспособленности к антигену (аффинность).

Находится наилучший лимфоцит, который является промежуточным решением.

К лимфоцитам применяется оператор мутации, который вносит небольшие изменения в структуру лимфоцитов.

Для сохранения числа лимфоцитов применяется оператор селекции, который отбирает лимфоциты с наибольшим значением аффинности.

Выполнение алгоритма прекращается, если достигнуто заданное число выполненных циклов или значения аффинности лимфоцитов перестают меняться.

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 искусственная иммунная система использовалась для оптимизации дерева курса – одного из компонентов модели гибридной системы обучения. Дерево курса определяет логическую структуру учебного процесса. Логическая структура состоит из элементов содержания обучения и связей между ними. Эта связь может быть безусловной (например, изучение понятия множества должно предшествовать изучению операций над множествами), но может и определяться методической позицией составителя учебного курса. В работе [3] вводится понятие нормальной логической структуры, никакие два элемента которой не могут изучаться одновременно и все связи в ней таковы, что начальный элемент связи изучается раньше конечного элемента. Очевидно, что взаимосвязанные элементы должны изучаться последовательно, близко к друг к другу, чтобы избежать забывания студентами уже изученного учебного материала. Однако такое возможно далеко не всегда, так как сближая в порядке изучения одну пару элементов, мы неизбежно отдаляем другую. В процессе оптимизации логической структуры учебного процесса

изменяется последовательность изучения элементов содержания и система связей между ними.

В [5] представлена следующая схема оптимизации. Логическая структура содержания обучения представлена в виде последовательности элементов содержания A_1, A_2, \dots, A_m . Между элементами содержания существуют внутриспредметные связи, которые выражаются в том, что элемент A_i используется при изучении элемента A_j , при нормальной структуре содержания $i < j$. Система связей между элементами содержания может быть задана с помощью графа. Для характеристики системы связей в [5] используются следующие показатели.

Длина связи $A_i A_j$ определяется следующим образом:

$$P(A_i, A_j) = j - i \quad (1)$$

Эффективностью связи называется величина, обратная ее длине

$$E(A_i, A_j) = \frac{1}{P(A_i, A_j)} \quad (2)$$

Средняя длина связи определяется

$$p_{\text{ср}} = \frac{\sum P(A_i, A_j)}{m} \quad (3)$$

где $\sum P(A_i, A_j)$ сумма длин всех связей, а m – количество связей.

Эффективность логической структуры определена, как величина, обратная средней длине и может быть выражена в процентах

$$E = \frac{100}{p_{\text{ср}}} \% \quad (4)$$

Таким образом, чем меньше средняя длина связей в логической структуре обучения, тем эффективнее происходит обучение. В гибридной системе обучения для оптимизации логической структуры мы использовали искусственную иммунную систему.

Алгоритм оптимизации логической структуры содержания обучения с использованием искусственной иммунной системы выглядит следующим образом.

1. В качестве антигена мы использовали граф, представляющий внутриспредметные связи между элементами содержания оптимизируемой логической структуры. В нашем случае – это тема «Элементы теории множеств».

Анализ графа позволяет разделить содержание обучения на несколько уровней: для содержания первого уровня нет предшествующих понятий, кроме понятия множества, для содержания второго уровня необходимо изучить как минимум один элемент первого уровня и т.д.

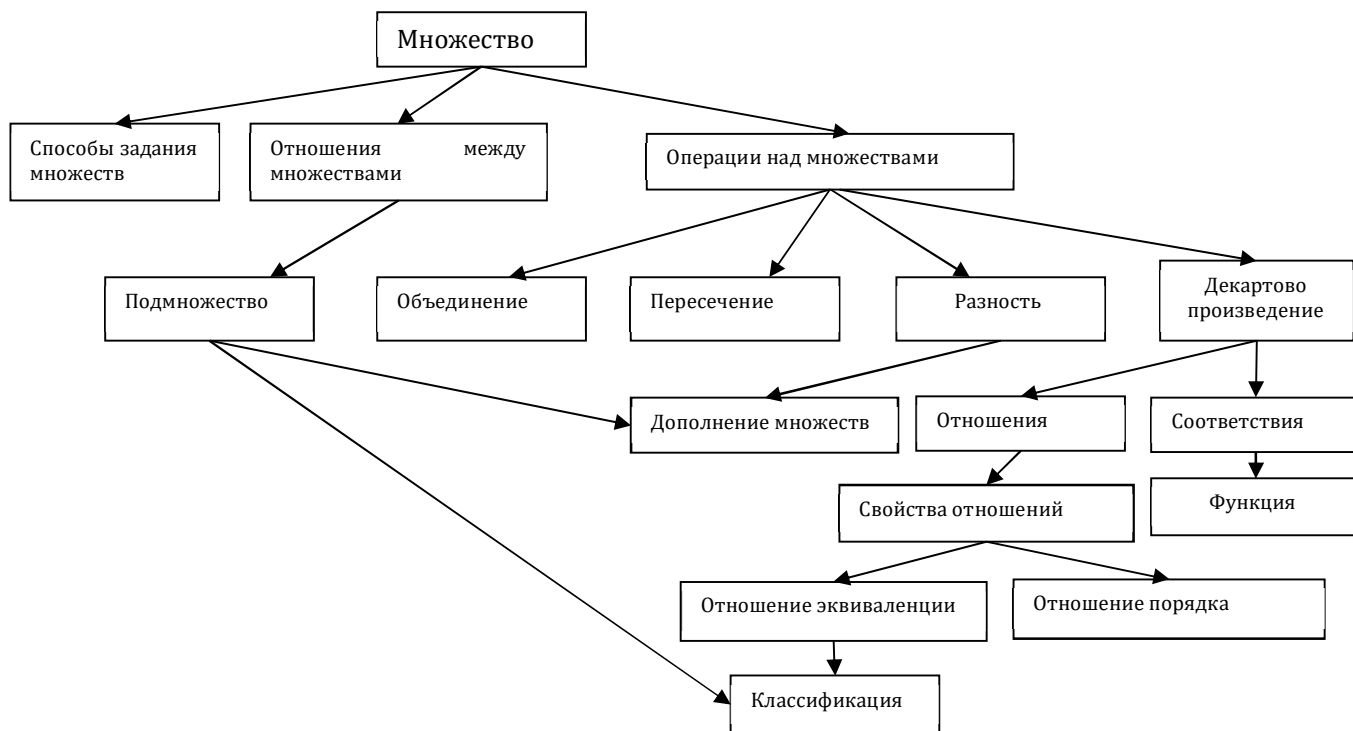


Рис. 2. Граф содержания темы «Элементы теории множеств»

Табл.1 Анализ системы связей содержания «Элементы теории множеств»

Элемент содержания	Уровень	Обозначение
Способы задания множеств	I	A1
Отношения между множествами	I	A2
Операции над множествами	I	A3
Подмножество	II	A4
Объединение	II	A5
Пересечение	II	A6
Декартово произведение	II	A7
Разность	II	A8
Дополнение	III	A9
Отношения	III	A10
Соответствия	III	A11
Свойства отношений	IV	A12
Функция	IV	A13
Отношение порядка	V	A14
Отношение эквиваленции	V	A15
Классификация	V	A16

Система связей между элементами содержания представляет собой следующее множество:

$$M = \{ (A1,A2), (A1,A3), (A1,A4), (A2,A4), (A3,A5), (A3,A6), (A3,A7), (A3,A8), (A8,A9), (A7,A10), (A7,A11), (A11,A13), (A12, A14), (A12,A15), (A15,A16) \}.$$

2. В качестве лимфоцитов нами была рассмотрена последовательность изучения

элементов содержания темы. Лимфоцит генерировался следующим образом: сначала случайным образом формировался порядок изучения элементов I уровня, затем II уровня и т.д. Таким образом, получается новая последовательность изучения элементов содержания, которые получают новые номера и для каждого лимфоцита формируется новое множество связей.

Табл.2 Пример лимфоцита

Элемент содержания	Уровень	Обозначение	Новый номер в последовательности изучения (лимфоците)
Способы задания множеств	I	A1	C3
Отношения между множествами	I	A2	C2
Операции над множествами	I	A3	C1
Подмножество	II	A4	C4
Объединение	II	A5	C6
Пересечение	II	A6	C5
Декартово произведение	II	A7	C7
Разность	II	A8	C8
Дополнение	III	A9	C11
Отношения	III	A10	C10
Соответствия	III	A11	C9
Свойства отношений	IV	A12	C12

Функция	IV	A13	C13
Отношение порядка	V	A14	C16
Отношение эквиваленции	V	A15	C15
Классификация	V	A16	C14

Здесь номер элемента C1 означает, что элемент изучается первым в данной последовательности, C2, что вторым и далее. Соответственно меняется и множество связей. Например связь (A3, A5) теперь определяется (C1, C6).

3. Затем для всех лимфоцитов высчитывается мера аффинности, в качестве которой выступает эффективность системы связи, определенная по

формуле (4). Определяется лимфоцит с наилучшим показателем аффинности, в нашем случае это логическая структура с наибольшей эффективностью системы связей, которая представляет собой текущее решение.

4. Определенная часть лимфоцитов с наихудшими показателями удаляется, в нашем случае удалялись лимфоциты с показателем эффективности системы связи, меньшим начального уровня, заданного пользователем.

5. К оставшимся лимфоцитам применялся оператор мутации. Мы использовали два типа мутаций. В первом случае в случайно выбранном лимфоците элементы случайно выбранного уровня содержания изменяли порядок изучения.

Табл.3 Лимфоцит после мутации 1 типа

Элемент содержания	Уровень	Обозначение	Новый номер в последовательности изучения	Порядок изучения элементов после мутации первого типа
Способы задания множеств	I	A1	C3	C3
Отношения между множествами	I	A2	C2	C2
Операции над множествами	I	A3	C1	C1
Подмножество	II	A4	C4	C6
Объединение	II	A5	C6	C5
Пересечение	II	A6	C5	C7
Декартово произведение	II	A7	C7	C8
Разность	II	A8	C8	C4
Дополнение	III	A9	C11	C11
Отношения	III	A10	C10	C10
Соответствия	III	A11	C9	C9
Свойства отношений	IV	A12	C12	C12
Функция	IV	A13	C13	C13
Отношение порядка	V	A14	C16	C16
Отношение эквиваленции	V	A15	C15	C15
Классификация	V	A16	C14	C14

Здесь был выбран II уровень элементов содержания и последовательность изучения изменили путем сдвига номеров вниз.

Мутация второго типа предполагала обмен последовательностями изучения элементов случайно выбранного уровня.

Мутировавшие лимфоциты присоединяются к текущему набору.

6. Процесс повторялся начиная с 3 шага 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.

Результатом является лимфоцит с наибольшим значением аффинности. В нашем случае это будет логическая структура изучения с наилучшей эффективностью системы связей,

которой соответствует оптимальный порядок изучения элементов содержания.

Результаты работы

Для реализации гибридной системы был разработан следующий интерфейс пользователя. **Главная страница** является общей для всех пользователей и является связующим узлом между различными разделами системы. На странице доступны два блока входа – вход под учетной записью преподавателя и вход под учетной записью обучающегося. Также предусмотрена возможность зарегистрировать новую учетную запись обучающегося и преподавателя. После регистрации под учетной записью студента пользователь сразу попадает в свой **личный кабинет обучающегося**.

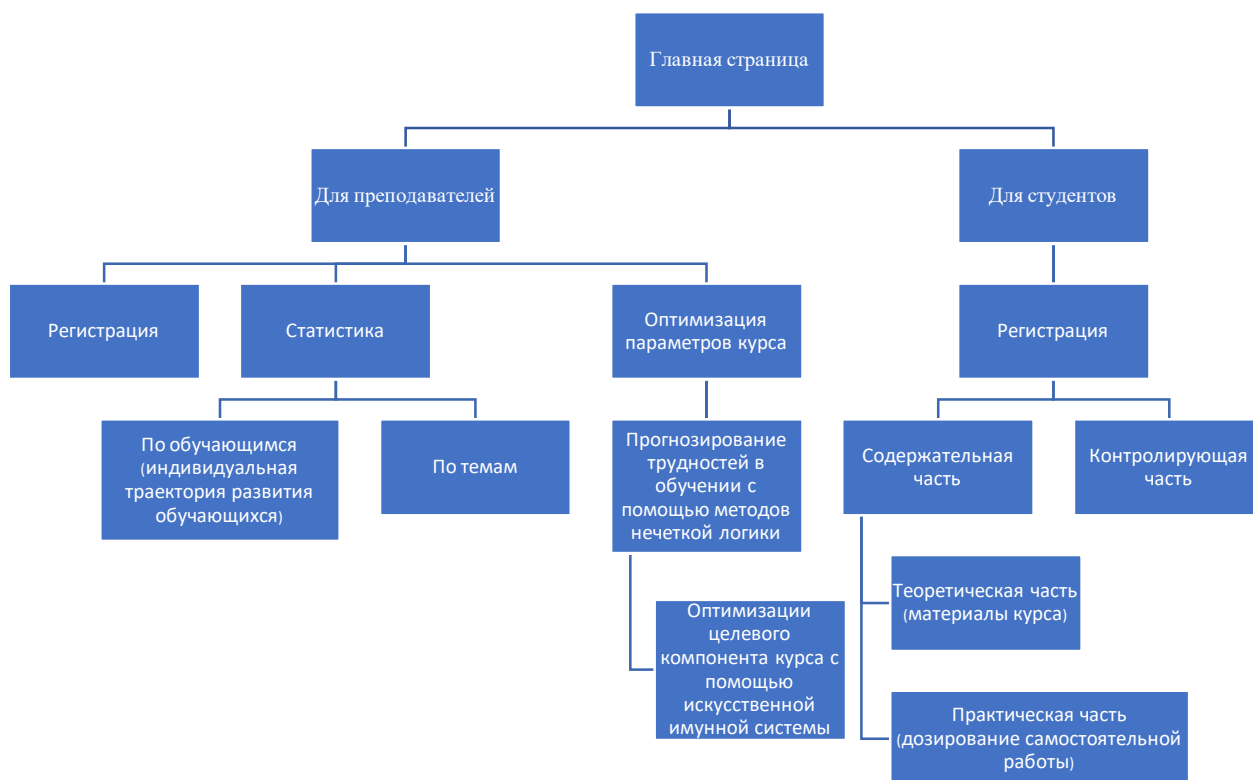


Рис. 3. Интерфейс системы

Эта страница является следующим связующим узлом – находясь в личном кабинете можно изучить теоретический материал раздела курса, выполнить практическую работу, пройти тестирование. Если обучающийся был классифицирован системой как не показавший уровень знаний, требуемый государственным образовательным стандартом, ему будет предложено пройти процедуру коррекции знаний, а затем повторное тестирование. Обучающийся может просматривать все свои результаты с полным предоставлением информации о пройденных тестах, менять персональные данные.

Алгоритм оптимизации целевого компонента выглядит следующим образом:

Создается дерево микроцелей каждой темы курса.

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

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.

Затем создается искусственная иммунная

система для оптимизации системы микроцелей.

Интерфейс системы представлен на рисунке 3.

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.

Литература

1. Мельникова А.А. Инструментальные средства моделирования учебных мультимедиа комплексов. автореф. дисс. ... кандидата технических наук, Самара, 2004.
2. Монахов В.М. Технологические основы проектирования и конструирования учебного процесса. – Волгоград: Перемена, 1995.
3. Астахова И. Ф. Составление расписания учебных занятий на основе генетического алгоритма / И. Ф. Астахова, А. М. Фирас // Вестник ВГУ, Серия: Системный анализ и информационные технологии. - 2013. - № 2.
4. 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
5. Васекин С. В. Технологические процедуры оптимизации при проектировании учебного процесса по математике : автореф.дисс. ... кандидата педагогических наук : 13.00.02. - Москва, 2000. - 171 с.
6. Астахова И. Ф. Разработка нечеткой модели прогнозирования устойчивости грунтового массива. / И. Ф. Астахова, А. И. Шашкин, Е. А. Коробкин // Вестник ВГУ, Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2015 - № 1.

References

1. Mel'nikova A.A. Instrumental'nye sredstva modelirovaniya uchebnyh mul'timedia kompleksov. avtoref. diss. ... kandidata tehniceskikh nauk, Samara, 2004.
2. Monahov V.M. Tehnologicheskie osnovy proektirovaniya i konstruirovaniya uchebnogo processa. – Volgograd: Peremena, 1995.
3. Astahova I. F. Sostavlenie raspisanija uchebnyh zanjatij na osnove geneticheskogo algoritma / I. F. Astahova, A. M. Firas // Vestnik VGU, Serija: Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii. - 2013. - № 2.
4. Ushakov S.A. Razrabotka i issledovanie algoritmov reshenija zadach raspoznavaniya na osnove iskusstvennyh imunnyh sistem. 05.13.17, avtoref. dis. ... kandidata tehniceskikh nauk. Voronezh, 2015
5. Vasekin S. V. Tehnologicheskie procedury optimizacii pri proektirovanii uchebnogo processa po matematike: avtoref.diss. ... kandidata pedagogicheskikh nauk: 13.00.02. - Moskva, 2000. - 171 s.
6. Astahova I. F. Razrabotka nechetkoj modeli prognozirovaniya ustojchivosti gruntovogo massiva. / I. F. Astahova, A. I. Shashkin, E. A. Korobkin // Vestnik VGU, Serija: Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii. – 2015 - № 1.

Поступила: 11.09.2017

Об авторах:

Астахова Ирина Федоровна, доктор технических наук, профессор кафедры математического обеспечения ЭВМ, факультет прикладной математики, информатики и механики, Воронежский государственный университет, astachova@list.ru

Киселева Екатерина Игоревна, ассистент кафедры педагогики и методики дошкольного и начального образования, психолого-педагогический факультет, Воронежский государственный педагогический университет, ekaterkisel@mail.ru

Note on the authors:

Astachova Irina F., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Hardware, Faculty of Applied Mathematics, Informatics and Mechanics, Voronezh State University, astachova@list.ru

Kiseleva Ekaterina I., Assistant of the Department of Pedagogy and Methods of Preschool and Primary Education, Psychological and Pedagogical Faculty, Voronezh State Pedagogical University, ekaterkisel@mail.ru