

Гибридная интеллектуальная информационная система прогнозирования количества тестовых заданий

И. Ф. Астахова¹, Е. И. Киселева^{2*}

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация
394018, Российская Федерация, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1

² ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», г. Воронеж, Россий-
ская Федерация

394043, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Ленина, д. 86

* ekaterkisel@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен алгоритм оптимизации тестовых заданий практической части учебного курса с использованием искусственной иммунной системы. Множество практических заданий класса делится на классы с помощью дискретной кластеризации. Формулировка целевой функции и ограничений задачи выполнена с использованием модели Г. Марковица. Одна из целевых функций задачи минимизирует корреляцию между трудностью заданий различных классов, что позволяет исключить попадание в набор практических заданий большого количества однотипных заданий, другая целевая функция максимизирует эффективность (понятие «эффективность» вводится в статье) набора заданий. Переменными модели являются доли от общего количества заданий, выбранные из каждого класса. Для оптимизации данной модели находится множество Парето-оптимальных решений бикритериальной задачи, что позволяет подобрать оптимальное соотношение между разнообразием заданий и их эффективностью. В работе предложен алгоритм отыскания решения этой задачи, модифицированный для искусственной иммунной системы. Предлагаемый в задаче алгоритм позволяет получить за относительно небольшое время удовлетворительную аппроксимацию парето-оптимального множества для решения задачи.

Ключевые слова: структурная модель обучающей системы, оптимизация практической части учебного курса; искусственная иммунная система, программный комплекс.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Астахова, И. Ф. Гибридная интеллектуальная информационная система прогнозирования количества тестовых заданий / И. Ф. Астахова, Е. И. Киселева. – DOI 10.25559/SITITO.16.202004.917-926 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Т. 16, № 4. – С. 917-926.

© Астахова И. Ф., Киселева Е. И., 2020



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Hybrid Intelligent Information System for Predicting the Number of Test Tasks

I. F. Astachova^a, E. I. Kiseleva^{b*}

^a Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation
1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation

^b Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russian Federation
86 Lenin St., Voronezh 394043, Russian Federation

* ekaterkisel@mail.ru

Abstract

The algorithm of optimization of the test tasks of the practical part of the training course using an artificial immune system is considered. The set of practical tasks of the class is divided into classes using discrete clustering. The formulation of the objective function and the constraints of the problem is performed using the G. Markowitz model. One of the objective functions of the task minimizes the correlation between the difficulty of tasks of different classes, which allows us to exclude a large number of tasks of the same type from falling into the practical tasks set, another objective function maximizes the effectiveness of the task sets. Model variables are the shares of the total number of tasks selected from each class. To optimize this model, there is a set of Pareto-optimal solutions to the bicriteria problem, which allows you to choose the optimal ratio between the diversity of tasks and their effectiveness. The paper proposes an algorithm for finding a solution to this problem, modified for an artificial immune system. The algorithm proposed in the problem allows us to obtain a satisfactory approximation of the Pareto-optimal set for solving the problem in a relatively short time.

Keywords: structural model of training systems, optimization of the practical part of the training course, artificial immune system, program complex.

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Astachova I.F., Kiseleva E.I. Hybrid Intelligent Information System for Predicting the Number of Test Tasks. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2020; 16(4):917-926. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITI-TO.16.202004.917-926>



Введение

Интенсивное развитие электронного образования (Electronic learning, E-learning) обусловлено его доступностью, гибкостью, разнообразием используемых средств. Созданы системы, позволяющие организовать и управлять процессом электронного обучения (Learning management systems, LMS – системы управления обучением).

Системы такого рода независимы от конкретной предметной среды обучения. Однако их универсальность не позволяет учитывать индивидуальные особенности учащихся и преподавателей при организации занятий. Разработка обучающих курсов и поддержание работы системы требуют значительных временных и финансовых затрат. Эффективность созданных курсов зависит от возможностей его разработчиков и может быть исследована только в процессе их функционирования.

Одним из недостатков современных автоматизированных обучающих систем является ориентированность на конкретную предметную область, многие системы трудно применить вне стен учебного заведения, в котором они были разработаны. Недостатком является ориентированность на теоретический материал, недостаточное разнообразие дидактических средств. Другой проблемой является необходимость привлечения программистов для адаптации и видоизменения системы, что снижает ее доступность и экономическую целесообразность.

Учебные курсы во всех системах по сути являются электронными учебниками, дополненными тестовой системой. Передача информации происходит по односторонней схеме, от системы к обучаемому, эффективность курса определяется возможностями его разработчика, статистические данные, накапливающиеся в ходе работы системы интерпретируются преподавателем так, как позволяет его опыт и подготовка. Разработка курса, таким образом, не может быть названа автоматизированной, так как все операции аналогичны тем, которые выполняются преподавателем при разработке обычных курсов.

Работы в области разработки компьютерных средств учебного назначения направлены на создание узкоспециальных обучающих программ, либо разрабатываются технические средства обучения в рамках уже существующих обучающих систем [1-7]. Анализ публикаций показывает, что применение экспертных систем в дистанционном обучении представляет сложную задачу, так как процесс обучения в различных предметных областях существенно отличается, что позволяет создавать системы с ограниченной сферой применения. Одним из путей решения этой проблемы может быть создание обучающей системы на основе применения технологий искусственного интеллекта, сочетающей в себе преимущества экспертной системы и автоматизированной обучающей системы [8-12].

Современные автоматизированные обучающие системы представляют сложные программные комплексы, функционирование которых требует обработки больших массивов данных в режиме реального времени. Это требование обусловило необходимость применения нетрадиционных технологий, прежде

всего технологий с использованием искусственного интеллекта [13-15].

В обучающих системах нейросетевые технологии используются для создания программных продуктов, в основе которых лежит технология нейронных сетей, для автоматизации создания и оптимизации функционирования различных составляющих образовательного процесса. Нейронные сети применяются для оценки результатов тестирования студентов. Применение нейронных сетей позволяет получить более точную картину знаний обучающихся, выявить пробелы в знаниях обучающихся, повысить объективность тестирования.

Нейронные сети в образовании так же используются для решения задач, близких к задачам классификации, в которых необходимо выполнить анализ большого числа трудно формализуемых факторов. К числу таких задач относится задача составления достоверного рейтинга преподавателей на основе опроса студентов, задача оценки деятельности и классификации учреждений высшего образования.

Другим классом задач, в решении которых нейросети показали свою эффективность, является управление процессом обучения. Нейронная сеть имеет возможность агрегировать данные о процессе обучения и на их основе определять очередное событие в генерируемом сценарии процесса обучения¹ [16-20]. Применение искусственных иммунных систем в образовании ограничено, так как эта область исследований является новой по сравнению с классическим генетическим алгоритмом и технологиями нейронных сетей.

В работе [21] иммунная система применяется для управления процессом дистанционного обучения. Созданная автором дистанционная образовательная технология включает создание эффективных алгоритмов обучения искусственных иммунных сетей на основе факторного анализа данных, устранение погрешностей оценок искусственной иммунной системы производится на основе свойств гомологичных белков.

Одним из направлений исследований по повышению эффективности управления образовательным процессом является применение методов нечеткой логики. В образовании модели нечеткой логики используются для управления образовательным процессом, а также для оценки эффективности образовательного процесса.

Автоматизированные обучающие программы, предназначенные для организации процесса обучения, и обеспечивающие возможность создания учебных курсов для преподавателя, не владеющего специальными знаниями в области программирования, имеют сложную структуру, что часто делает их эксплуатацию нецелесообразной вне организации полного цикла дистанционного обучения. Такие системы отличаются односторонним диалогом, простотой алгоритма организации обучения, не предоставляют пользователю менять стратегию обучения. Эффективность конкретного учебного курса в рамках системы целиком зависит от опыта знаний и возможностей преподавателя, который является разработчиком этого курса.

Адаптивные системы обучения, созданные с использованием различных интеллектуальных технологий, неизбежно ориен-

¹ Sharable Content Object Reference Model (SCORM®) [Электронный ресурс] // Advanced Distributed Learning Initiative. SCORM 2004 (4th Edition). URL: <https://www.adlnet.gov/research/scorm/scorm-2004-4th-edition> (дата обращения: 18.07.2020).



тированы на конкретные предметные области, так как процесс обучения в каждой области имеет специфические черты. В этом можно усмотреть причину большего распространения систем дистанционного обучения по сравнению с адаптивными системами, область использования которых, как правило, не выходит из круга их разработчиков.

Анализ публикаций показывает, что применение экспертных систем в дистанционном обучении представляет сложную задачу, так как процесс обучения в различных предметных областях существенно отличается, что позволяет создавать системы с ограниченной сферой применения. Одним из путей решения этой проблемы может быть создание системы на основе применения технологий искусственного интеллекта, сочетающей в себе преимущества экспертной системы и автоматизированной обучающей системы.

Можно установить, таким образом, существование необходимости создания системы, сочетающей в себе универсальность автоматизированной обучающей системы с возможностями оптимизации на основе обратной связи пользователь – учебная система. Одним из возможных решений этой задачи является использование различных технологий искусственного интеллекта.

Существующие в настоящее время методы автоматизации разработки и оптимизации обучающих курсов в системах являются недостаточно эффективными и характеризуются узкой направленностью, связанной с конкретной предметной областью. В виду исключительного многообразия практических ситуаций, возникающих при решении задачи создания и оптимизации обучающих курсов, первостепенное значение приобретает исследование системных связей между параметрами с целью построения модели обучающей системы и синтеза информационных технологий, обеспечивающих гибкую настройку для различных предметных областей² [22].

Так же возникают проблемные вопросы разработки алгоритмического и программного обеспечения процедур автоматизации создания и оптимизации учебных курсов в рамках системы с применением компьютерных технологий [23].

Одними из современных средств обучения с применением компьютерных технологий являются сетевые банки практических заданий, которые широко используются при подготовке школьников к ОГЭ и ЕГЭ. Однако решение всех заданий, содержащихся в подобном банке, требует больших временных затрат из-за большого количества однотипных заданий. В настоящее время отсутствуют алгоритмы выбора оптимального набора заданий, достаточного для достижения поставленных целей.

Цель работы

Целью работы являлось создание гибридной интеллектуальной информационной системы, предназначенной для прогнозирования оптимального количества тестовых заданий, позволяющих выполнить диагностику сформированности у обучающихся всех компетенций данного учебного курса.

Алгоритм оптимизации содержания практической части курса с использованием искусственной иммунной системы

Согласно классической теории тестирования, каждое практическое учебное задание характеризуется следующими показателями³:

1) *Вес задания* вычисляется по формуле:

$$\mu_k = n/m \quad (1)$$

где n – количество компетенций учебного курса, достижению которых способствует успешное выполнение данного задания, m – общее количество компетенций данного учебного курса.

2) *Трудность задания* вычисляется по формуле:

$$\delta_j = Ne/Nt \quad (2)$$

где Ne – количество обучающихся, выполнивших задание неверно, Nt – количество обучающихся, выполнявших это задание.

Множество практических заданий курса может быть подвергнуто дискретной кластеризации. В один класс включаются задания, направленные на формирование одинаковых компетенций курса. Затем внутри каждого из классов может быть проведена интервальная кластеризация на основе показателя трудности заданий. После выполнения этих процедур множество заданий будет разделено на классы, близких по трудности заданий, направленных на достижение одинаковых целей курса.

Каждый класс характеризуется:

- 1) количеством заданий k ,
- 2) весом заданий μ_i , вычисленному по формуле (1),
- 3) коэффициентом средней трудности заданий, определяемым по формуле:

$$\delta_{imid} = (\sum_1^k \delta_i) / k \quad (3)$$

где k – количество заданий данного класса, δ_i – трудность i задания этого класса, вычисляемая по формуле (12).

Формулировка целевой функции и ограничений задачи выполнена с использованием модели, предложенной Г. Марковицем. Требуется определить долю заданий каждого класса в общем количестве практических заданий, предлагаемых обучающемуся и отвечающих условиям:

$$R(X) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma_{ij} x_i x_j \rightarrow \min, \quad D(X) = \sum_{i=1}^N \mu_i x_i \rightarrow \max \quad (4)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^{N2} x_i = 1, \quad x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}, \quad i = 1, \dots, N2, \quad (5)$$

где $N2$ – число классов заданий, которые доступны в учебном курсе; μ_i – вес заданий класса i ; σ_{ij} – ковариация коэффициентов средней трудности заданий классов i и j ; x_i^{\min} – нижнее ограничение на долю заданий, выбираемых из класса i , x_i^{\max} – верхнее ограничение на долю заданий, выбираемых из класса i , x_i – доля от общего объема заданий, выбранная из данного класса i .

Переменными модели являются x_i – доля ($0 \leq x_i \leq 1$) от общего количества заданий, выбранная из класса i , $i=1, \dots, N2$.

Для оптимизации данной модели требуется отыскать множе-

² Меньшикова А. А. Инструментальные средства моделирования учебных мультимедиа комплексов: дисс. ... канд. тех. наук. Самара: СГАУ, 2004.

³ Васекин С. В. Технологические процедуры оптимизации при проектировании учебного процесса по математике: дисс. ... канд. пед. наук. Москва: МГОПУ, 2000.



ство Парето-оптимальных решений бикритериальной задачи, что позволит подобрать оптимальное соотношение между разнообразием заданий и их эффективностью. В работе [25] предложен генетический алгоритм отыскания решения этой задачи. В данной работе предложенный алгоритм модифицируется для искусственной иммунной системы.

Алгоритм имеет следующий вид:

1) Определение антигена. Антиген представляет вектор $(R^*(X), D^*(X))$, компоненты которого являются оптимальными значениями соответствующих функций (4), найденными по отдельности, при переводе второй функции в ограничение.

2) Формирование популяции антител размером N . Антителом в данной задаче является вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_{N2})$, содержащий долю заданий каждого класса в наборе, предлагаемом обучающемуся, отвечающий условиям $x_i^{min} \leq x_i \leq x_i^{max}, i = 1, \dots, N2$. Популяция антител имеет размер, определяемый пользователем. Формирование популяции происходит следующим образом: каждой компоненте вектора присваивается допустимое минимальное значение, а затем выбирается случайным образом m различных компонент, значение которых увеличивается на $(1 - \sum_1^N x_i)/m$.

3) Оценка аффинности антител к антигену происходит следующим образом.

Для каждого решения X в популяции вычисляется вектор $(R(X), D(X))$. К полученному множеству применяется процедура ранжирования, осуществляемая следующим образом:

- в текущей популяции находятся и временно исключаются из рассмотрения все недоминируемые по Парето решения;
- процедура повторяется до тех пор, пока не будут исключены все элементы исходного множества;
- элементы, принадлежащие последнему рассмотренному множеству, получают ранг 1, предпоследнему – ранг 2. Недоминируемые решения, исключенные первыми, получают наивысший ранг k , соответственно равный количеству проведенных процедур исключения.

Далее каждое антитело получает оценку аффинности к антигену. Для каждого антитела X вычисляется евклидово расстояние d от вектора $(R(X), D(X))$ до $(R^*(X), D^*(X))$. Каждое антитело получает оценку $Aff(X) = k + 1/d$,

где k – ранг множества, которому принадлежит данное антитело, d – евклидово расстояние от антитела до антигена.

Такой метод назначения оценок настраивает алгоритм на поиск недоминируемых решений, имеющих наибольшую близость к оптимальным значениям, вычисленным по каждому из критериев в отдельности.

4) Определяется антитело с наилучшим показателем аффинности, которое считается текущим решением задачи. Выбирается P ($P < N$) антител с наилучшими показателями аффинности, к которым применяется оператор клонирования (создания копий).

5) К полученным клоном антител применяется оператор мутации. Выбранная реализация оператора мутации подразумевает случайный выбор двух позиций i и j и обмен их значений. Если при этом нарушаются ограничения на максимальный размер доли, например $x_j > x_j^{max}$, то $x_i = x_i^{max}, x_j = x_j + x_i - x_i^{max}$.

На рисунке 1 приведен пример мутации, при которой поменялись местами вторая и девятая позиции.

| Антитело | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|
| 0,12 | 0,34 | 0,17 | 0,15 | 0,08 | 0,05 | 0,14 | 0,03 | 0,04 | 0,01 |
| Антитело после мутации | | | | | | | | | |
| 0,12 | 0,04 | 0,17 | 0,15 | 0,08 | 0,05 | 0,14 | 0,03 | 0,34 | 0,01 |

Р и с. 1. Мутация антител
F i g. 1. Antibody mutation

- Вычисляется аффинность клонов антител.
- Формируется новая популяция путем присоединения к текущей популяции клонов антител.
- Часть антител с наихудшими показателями аффинности удаляется из популяции и заменяется новыми сгенерированными случайным образом антителами.
- Начиная с третьего шага, процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнута стабилизация популяции на протяжении некоторого, определённого пользователем, количества повторений цикла.

Решением задачи является текущее решение, полученное в ходе последней итерации алгоритма. Текущая популяция антител представляет искомое множество Парето-оптимальных решений бикритериальной задачи.

Предлагаемый алгоритм позволяет получить за относительно небольшое время удовлетворительную аппроксимацию парето-оптимального множества для решения задачи.

Программный комплекс

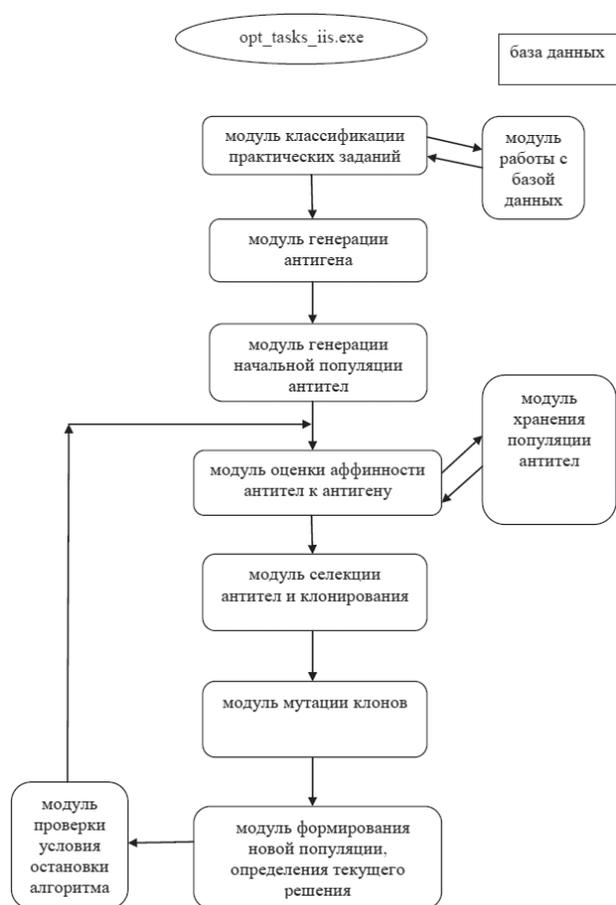
Данный модуль программы opt_tasks_iis.exe посвящен оптимизации компонента практических заданий учебного курса с использованием искусственной иммунной системы. Структура модуля представлена на рисунке 2.

Первым этапом оптимизации содержания практической части курса является классификация заданий курса по уровню трудности, которая реализована в соответствующем модуле. С целью хранения данных о каждом из практических заданий спроектированы классы Task и TaskOperate. Объект этого класса содержит данные о задании, коэффициенте его трудности и весе. Классификация заданий осуществлялась поэтапно. На первом этапе задания были отнесены к одному классу, если совпадали множества компетенций курса, для формирования которых предназначены данные задания. Таким образом, на этом этапе были получены классы заданий, направленных на достижение одинакового набора компетенций курса. На втором этапе каждый из полученных классов в свою очередь был разделен на классы заданий, коэффициент трудности которых отличается не более чем на величину, заданную пользователем. Для того чтобы полученные классы заметным образом отличались по трудности, эта величина может быть установлена на уровне 0,1.

В результате выполнения предыдущих частей модуля были получены классы заданий одинаковой трудности и веса. Среднюю трудность заданий класса можно вычислить как среднее арифметическое коэффициентов трудности заданий класса.



Так как все задания класса характеризуются тем, что предназначены для достижения одинакового набора компетенций, вес всех заданий одинаков и может быть вычислен по формуле (1). Так же в этом модуле вычисляются ковариации между коэффициентами средней трудности для каждой пары классов. Данные о классах заданий попадают в модуль генерации антигена. Антиген представляет двухкомпонентный вектор, который формируется следующим образом: задача оптимизации системы заданий с ограничениями (4-5) преобразовывается в монокритериальную, условие минимальности $R(X)$ не учитывается, максимизируется функция $D(X)$. Полученное максимальное значение функции $D^*(X)$ является одним из компонентов антигена. Вторым компонентом антигена является минимальное значение $R^*(X)$, вычисленное без учета условия максимальности $D(x)$. Антиген представляет вектор $(R^*(X), D^*(X))$.



Р и с. 2. Структура модуля оптимизации содержания практической части курса

Fig. 2. The structure of the module for optimizing the content of the course practical part

Генерация начальной популяции антител осуществляется следующим образом. Антитело в данной задаче представляет одномерный массив содержащий данные о доле заданий каждо-

го класса в общем наборе практических заданий, которые должен выполнить обучающийся. Доля заданий каждого класса x_i должна отвечать условиям $x_i^{min} \leq x_i \leq x_i^{max}, i = 1, \dots, N2$, максимальную и минимальную долю заданий каждого класса устанавливает разработчик курса. Популяция антител имеет размер, определяемый пользователем. Генерация антител происходит следующим образом: каждой компоненте массива присваивается допустимое минимальное значение, а затем выбирается случайным образом m различных компонент, значение которых увеличивается на $(1 - \sum_1^N x_i)/m$, если это не нарушает ограничений (5).

Данные о популяции антител передаются в модуль оценки аффинитета антител. Для каждого решения X в популяции вычисляется вектор $(R(X), D(X))$, к нему применяется процедура ранжирования. В текущей популяции находятся и временно исключаются из рассмотрения все недоминируемые по Парето решения. Затем эта процедура повторяется. Элементы, принадлежащие последнему рассмотренному множеству, получают ранг 1, предпоследнему – ранг 2. Недоминируемые решения, исключенные первыми, получают наивысший ранг g , соответственно равный количеству проведенных процедур исключения. Далее каждый антитело получает оценку аффинитета к антигену. Для каждого антитела X вычисляется евклидово расстояние d от вектора $(R(X), D(X))$ до $(R(X), D(X))$. Каждый антитело получает оценку $r+1/k$, где k – ранг множества, которому принадлежит данное антитело.

В блоке селекции антител отбирались антитела с наилучшими показателями аффинитета, которые затем подвергались мутации в следующем блоке. Выбранная реализация оператора мутации подразумевает случайный выбор в массиве, представляющем антитело, двух позиций i и j и обмен их значений. Если при этом нарушались ограничения на максимальный размер доли для какого либо элемента массива, например $x_j > x_j^{max}$, то $x_i = x_i^{max}, x_j = x_j + x_i - x_i^{max}$. При мутации второго типа выбираются два антитела и в массивах, их представляющих, происходит обмен значениями произвольно выбранных элементов. Мутировавшие антитела присоединяются к существующей популяции. Затем происходит оценка аффинитета антител по выше описанной схеме и антител с худшими показателями аффинитета удаляются из популяции. Из оставшихся выбирается антитело с наилучшим показателем аффинитета, который считается текущим решением.

На следующем этапе происходит проверки условия остановки алгоритма. Алгоритм прекращает работу, если популяция антител остается стабильной на протяжении достаточно большого числа циклов. Антитело с наилучшим показателем аффинитета представляет оптимальный набор заданий для практической работы. Для каждого класса практических заданий определена оптимальная доля. Количество заданий класса, которые будут включены в компонент практической работы, вычисляется и заносится в базу данных.

Заключение

В настоящей работе описана система, использующая искусственную иммунную систему для оптимизации тестовых заданий учебного курса.



Список использованных источников

- [1] Abdullah, A. Pedagogical Agents to Support Embodied, Discovery-Based Learning / A. Abdullah [et al.]. — DOI 10.1007/978-3-319-67401-8_1 // Intelligent Virtual Agents. IVA 2017. Lecture Notes in Computer Science; J. Beskow, C. Peter, G. Castellano, C. O'Sullivan, I. Leite, S. Kopp (ed.). Springer, Cham. — 2017. — Vol. 10498. — Pp. 1-14. — URL: https://rd.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-67401-8_1 (дата обращения: 18.07.2020).
- [2] Lane, M. Dimensions of student success: a framework for defining and evaluating support for learning in higher education / M. Lane, A. Moore, L. Hooper, V. Menzies, B. Cooper, N. Shaw, C. Rueckert. — DOI 10.1080/07294360.2019.1615418 // Higher Education Research & Development. — 2019. — Vol. 38, issue 5. — Pp. 954-968. — URL: <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/07294360.2019.1615418> (дата обращения: 18.07.2020).
- [3] Dorofeeva, A. A. Trends in digitalization of education and training for industry 4.0 in the Russian federation / A. A. Dorofeeva, L. B. Nyurenberger. — DOI 10.1088/1757-899X/537/4/042070 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Cybernetics, Economics and Organization of Mechanical Engineering Production. — 2019. — Vol. 537, issue 4. — Article: 042070. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/537/4/042070> (дата обращения: 18.07.2020).
- [4] Наумов, А. В. Программный комплекс интеллектуальной поддержки и обеспечения безопасности функционирования СДО МАИ CLASS.NET / А. В. Наумов, Г. А. Мхитарян, А. А. Рыбалко. — DOI 10.14529/mmp160412 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. — 2016. — Т. 9, № 4. — С. 129-140. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27318774> (дата обращения: 18.07.2020).
- [5] Rei, A. A System for Visualization and Analysis of Online Pedagogical Interactions / A. Rei, A. Figueira, L. Oliveira. — DOI 10.1145/3141151.3141161 // Proceedings of the 2017 International Conference on E-Education, E-Business and E-Technology (ICEBT 2017). — Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2017. — Pp. 42-46. — URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3141151.3141161> (дата обращения: 18.07.2020).
- [6] Smyth, R. Toward an Open Empowered Learning Model of Pedagogy in Higher Education / R. Smyth, C. Bossu, A. Stagg. — DOI 10.4018/978-1-5225-0783-3.ch106 // Blended Learning: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications; ed. by R. Smyth, C. Bossu, A. Stagg. — Hershey, PA: IGI Global, 2017. — Pp. 2196-2214. — URL: <https://www.igi-global.com/chapter/toward-an-open-empowered-learning-model-of-pedagogy-in-higher-education/163627> (дата обращения: 18.07.2020).
- [7] Barinova, N. Monitoring of the Educational Process with the Use of Information and Communication Technologies: A Case Study in Computer Science / N. Barinova, V. Zakirova, D. Akhmetova, L. Lysogorova. — DOI 10.29333/ejmste/89840 // Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education. — 2018. — Vol. 14, issue 6. — Pp. 2379-2391.
- [8] Kalana Mendis, D. S. Tacit knowledge modeling in Intelligent Hybrid systems / D. S. Kalana Mendis, A. S. Karunananda, U. Samaratunga, U. Ratnayake. — DOI 10.1109/ICIINFS.2007.4579188 // 2007 International Conference on Industrial and Information Systems. — Peradeniya, Sri Lanka, 2007. — Pp. 279-284. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4579188> (дата обращения: 18.07.2020).
- [9] Дик, В. В. Перспективы развития инструментария электронного обучения за счет развития информационных и коммуникационных технологий / В. В. Дик, А. И. Уринцов, Н. В. Днепровская, И. В. Павлековская // Научный вестник Национального горного университета. — 2014. — № 4. — С. 152-156.
- [10] Dneprovskaya, N. Knowledge Management Methods in Online Course Development / N. Dneprovskaya, I. Shevtsova, T. Bayaskalanova, I. Lutoev // Proceedings of the 15th European Conference on e-Learning (ECEL 2016); ed. by J. Novotna, A. Jancarik. — Curran Associates, Inc., 2016. — Pp. 159-165.
- [11] Afanasev, M. Digital Transformation of the Knowledge Management Process / M. Afanasev, N. Dneprovskaya, M. Kliachin, D. Demidko // Proceedings of the 19th European Conference on Knowledge Management (ECKM 2018); ed. by E. Bolisani, E. Di Maria, E. Scarso. — Vol. 1. — Padova, Italy: Academic Conferences and Publishing International Limited, 2018. — Pp. 1-8.
- [12] Komleva, N. Content Evaluation in Knowledge Management Systems / N. Komleva, N. Dneprovskaya, T. Vnukova // Proceedings of the 19th European Conference on Knowledge Management (ECKM 2018); ed. by E. Bolisani, E. Di Maria, E. Scarso. — Vol. 1. — Padova, Italy: Academic Conferences and Publishing International Limited, 2018. — Pp. 399-406.
- [13] Sedelmaier, Y. Evaluating didactical approaches based upon students' competences / Y. Sedelmaier, D. Landes. — DOI 10.1109/EDUCON.2016.7474603 // 2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). — Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2016. — Pp. 527-536. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7474603> (дата обращения: 18.07.2020).
- [14] Pérez, J. Development of Procedures to Assess Problem-Solving Competence in Computing Engineering / J. Pérez, C. Vizcarro, J. García, A. Bermúdez, R. Cobos. — DOI 10.1109/TE.2016.2582736 // IEEE Transactions on Education. — 2017. — Vol. 60, No. 1. — Pp. 22-28. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7513434> (дата обращения: 18.07.2020).
- [15] Sukhomlin, V. Analytical Review of the Current Curriculum Standards in Information Technologies / V. Sukhomlin, E. Zubareva. — DOI 10.1007/978-3-030-46895-8_1 // Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science; V. Sukhomlin, E. Zubareva (ed.). Springer, Cham. — 2020. — Vol. 1201. — Pp. 3-41. — URL: <https://rd>



- springer. com/chapter/10.1007/978-3-030-46895-8_1 (дата обращения: 18.07.2020).
- [16] Комаров, А. И. Технологический комплекс средств для реализации образовательного процесса с элементами интерактивности и идентификации обучаемых / А. И. Комаров, В. М. Панченко // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. — 2016. — Т. 12, № 3-1. — С. 82-89. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27411978> (дата обращения: 18.07.2020). — Рез. англ.
- [17] Monostori, L. On hybrid learning and its application in intelligent manufacturing / L. Monostori, Cs. Egresits. — DOI 10.1016/S0166-3615(97)00064-X // *Computers in Industry*. — 1997. — Vol. 33, issue 1. — Pp. 111-117. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016636159700064X> (дата обращения: 18.07.2020).
- [18] Басалин, П. Д. Оболочка гибридной интеллектуальной обучающей среды производственного типа / П. Д. Басалин, А. Е. Тимофеев // *Образовательные технологии и общество*. — 2018. — Т. 21, № 1. — С. 396-405. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32253182> (дата обращения: 18.07.2020). — Рез. англ.
- [19] Грезина, А. В. Изучение курса физики в институте информационных технологий, математики и механики ННГУ на базе системы электронного обучения / А. В. Грезина, А. Г. Панасенко // *Образовательные технологии и общество*. — 2018. — Т. 21, № 1. — С. 487-493. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32253189> (дата обращения: 18.07.2020). — Рез. англ.
- [20] Alpers, B. Das SEFI Maths Working Group «Curriculum Framework Document» und seine Realisierung in einem Mathematik-Curriculum für einen praxisorientierten Maschinenbaustudiengang / B. Alpers. — DOI 10.1007/978-3-658-10261-6_40 // *Lehren und Lernen von Mathematik in der Studiengangphase. Konzepte und Studien zur Hochschuldidaktik und Lehrerbildung Mathematik*; A. Hoppenbrock, R. Biehler, R. Hochmuth, H. G. Rück (ed.). Springer Spektrum, Wiesbaden, 2016. — Pp. 645-659. — URL: https://rd.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-10261-6_40 (дата обращения: 18.07.2020).
- [21] Самигулина, Г. А. Разработка дистанционной образовательной технологии на основе искусственных иммунных систем / Г. А. Самигулина // *Открытое образование*. — 2008. — № 6. — С. 52-58. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11693391> (дата обращения: 18.07.2020).
- [22] Князева, Г. В. Применение мультимедийных технологий в образовательных учреждениях / Г. В. Князева // *Вестник Волжского университета имени В. Н. Татищева*. — 2010. — № 16. — С. 77-95. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17095898> (дата обращения: 18.07.2020). — Рез. англ.
- [23] Астахова, И. Ф. Составление расписания учебных занятий на основе генетического алгоритма / И. Ф. Астахова, А. М. Фирас // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2013. — № 2. — С. 93-99. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20734404> (дата обращения: 18.07.2020). — Рез. англ.
- [24] Бутакова, С. М. Проектирование образовательного процесса по математике в контексте стандартов CDIO / С. М. Бутакова, Н. А. Братухина, М. Н. Арасланова, Н. Б. Кубикова // *Фундаментальные исследования*. — 2014. — № 6-7. — С. 1497-1503. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21650411> (дата обращения: 18.07.2020). — Рез. англ.
- [25] Каширина, И. Л. Управление портфелем ценных бумаг с использованием нейросетевого компонента / И. Л. Каширина, К. Г. Иванова // *Системное моделирование социально-экономических процессов: труды 31-й междунар. науч. школы-семинара*. — Воронеж: ВГУ, 2008. — Ч. III. — С. 131-135.

Поступила 18.07.2020; одобрена после рецензирования 15.10.2020; принята к публикации 22.11.2020.

Об авторах:

Астахова Ирина Федоровна, профессор кафедры математического обеспечения ЭВМ, факультет прикладной математики, информатики и механики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (394018, Российская Федерация, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2627-8508>, astachova@list.ru

Киселева Екатерина Игоревна, старший преподаватель кафедры педагогики и методики дошкольного и начального образования, психолого-педагогический факультет, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет» (394043, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Ленина, д. 86), кандидат физико-математических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6406-9782>, ekaterkisel@mail.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Abdullah A. et al. Pedagogical Agents to Support Embodied, Discovery-Based Learning. In: Beskow J., Peters C., Castellano G., O'Sullivan C., Leite I., Kopp S. (ed.) *Intelligent Virtual Agents. IVA 2017. Lecture Notes in Computer Science*. 2017; 10498:1-14. Springer, Cham. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67401-8_1
- [2] Lane M., Moore A., Hooper L., Menzies V., Cooper B., Shaw N., Rueckert C. Dimensions of student success: a framework for defining and evaluating support for learning in higher education. *Higher Education Research & Development*. 2019; 38(5):954-968. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1080/07294360.2019.1615418>
- [3] Dorofeeva A.A., Nyurenberger L.B. Trends in digitalization of education and training for industry 4.0 in the Russian Federation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Cybernetics, Economics and Organization of Mechanical Engineering Production*. 2019; 537(4):042070. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/4/042070>
- [4] Naumov A.V., Mkhitarian G.A., Rybalko A.A. Software set of



- intellectual support and security of LMS MAI CLASS.NET. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Mathematical Modelling, Programming and Computer Software"*. 2016; 9(4):129-140. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.14529/mmp160412>
- [5] Rei A., Figueira A., Oliveira L. A System for Visualization and Analysis of Online Pedagogical Interactions. In: *Proceedings of the 2017 International Conference on E-Education, E-Business and E-Technology (ICEBT 2017)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA; 2017. p. 42-46. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1145/3141151.3141161>
- [6] Smyth R., Bossu C., Stagg A. Toward an Open Empowered Learning Model of Pedagogy in Higher Education. In: Smyth R., Bossu C., Stagg A. (ed.) *Blended Learning: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. Hershey, PA: IGI Global; 2017. p. 2196-2214. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0783-3.ch106>
- [7] Barinova N., Zakirova V., Akhmetova D., Lysogorova L. Monitoring of the Educational Process with the Use of Information and Communication Technologies: A Case Study in Computer Science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2018; 14(6):2379-2391. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.29333/ejmste/89840>
- [8] Kalana Mendis D.S., Karunananda A.S., Samaratinga U., Ratnayake U. Tacit knowledge modeling in Intelligent Hybrid systems. In: *2007 International Conference on Industrial and Information Systems*. Peradeniya, Sri Lanka; 2007. p. 279-284. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIINFS.2007.4579188>
- [9] Dik V.V., Urintsov A.I., Dneprovskaya N.V., Pavlekovskaya I.V. Prospective of E-learning toolkit enhanced by ICT development. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* = Scientific Bulletin of National Mining University. 2014; (4):152-156. (In Eng.)
- [10] Dneprovskaya N., Shevtsova I., Bayaskalanova T., Lutoev I. Knowledge Management Methods in Online Course Development. In: Novotna J., Jancarik A. (ed.) *Proceedings of the 15th European Conference on e-Learning (ECEL 2016)*. Curran Associates, Inc.; 2016. p. 159-165. (In Eng.)
- [11] Afanasev M., Dneprovskaya N., Kliachin M., Demidko D. Digital Transformation of the Knowledge Management Process. In: Bolisani E., Maria E. Di, Scarso E. (ed.) *Proceedings of the 19th European Conference on Knowledge Management (ECKM 2018)*. Vol. 1. Padova, Italy: Academic Conferences and Publishing International Limited; 2018. p. 1-8. (In Eng.)
- [12] Komleva N., Dneprovskaya N., Vnukova T. Content Evaluation in Knowledge Management Systems. In: Bolisani E., Maria E. Di, Scarso E. (ed.) *Proceedings of the 19th European Conference on Knowledge Management (ECKM 2018)*. Vol. 1. Padova, Italy: Academic Conferences and Publishing International Limited; 2018. p. 399-406. (In Eng.)
- [13] Sedelmaier Y., Landes D. Evaluating didactical approaches based upon students' competences. In: *2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. Abu Dhabi, United Arab Emirates; 2016. p. 527-536. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2016.7474603>
- [14] Pérez J., Vizcarro C., García J., Bermúdez A., Cobos R. Development of Procedures to Assess Problem-Solving Competence in Computing Engineering. *IEEE Transactions on Education*. 2017; 60(1):22-28. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/TE.2016.2582736>
- [15] Sukhomlin V., Zubareva E. Analytical Review of the Current Curriculum Standards in Information Technologies. In: Sukhomlin V., Zubareva E. (ed.) *Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science*. 2020; 1201:3-41. Springer, Cham. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-46895-8_1
- [16] Komarov A.I., Panchenko V.M. Software complex for supporting interactive education process with opportunity of students identification. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2016; 12(3-1):82-89. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27411978> (accessed 18.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [17] Monostori L., Egresits Cs. On hybrid learning and its application in intelligent manufacturing. *Computers in Industry*. 1997; 33(1):111-117. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(97\)00064-X](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(97)00064-X)
- [18] Basalin P.D., Timofeev A.E. *Obolochka gibridnoj intellektual'noj obuchayushchej sredy produkcionnogo tipa* [Production-Type Hybrid Intelligent Learning Environment Wrapper]. *Obrazovatel'nye tehnologii i obshchestvo* = Educational Technologies & Society. 2018; 21(1):396-405. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32253182> (accessed 18.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [19] Grezina A.V., Panasenko A.G. *Izuchenie kursa fiziki v institute informacionnyh tehnologij, matematiki i mekhaniki NNGU na baze sistemy elektronnoho obucheniya* [Studying a physics course at the Institute of Information Technologies, Mathematics and Mechanics of the UNN based on the e-learning system]. *Obrazovatel'nye tehnologii i obshchestvo* = Educational Technologies & Society. 2018; 21(1):487-493. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32253189> (accessed 18.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [20] Alpers B. Das SEFI Maths Working Group "Curriculum Framework Document" und seine Realisierung in einem Mathematik-Curriculum für einen praxisorientierten Maschinenbaustudiengang. In: Hoppenbrock A., Biehler R., Hochmuth R., Rück H.G. (ed.) *Lehren und Lernen von Mathematik in der Studieneingangsphase. Konzepte und Studien zur Hochschuldidaktik und Lehrerbildung Mathematik*. Springer Spektrum, Wiesbaden; 2016. p. 645-659. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-658-10261-6_40
- [21] Samigulina G.A. *Razrabotka distancionnoj obrazovatel'noj tehnologii na osnove iskusstvennyh immunnyh sistem* [Development of distance learning technology based on artificial immune systems]. *Otkrytoe obrazovanie* = Open Education. 2008; (6):52-58. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11693391> (accessed 18.07.2020). (In Russ.)
- [22] Knyazeva G.V. Application of multimedia technologies in educational institutions. *Vestnik of Volzhsky University after V.N. Tatischev*. 2010; (16):77-95. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17095898> (accessed 18.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)



- [23] Astachova I.F., Firas A.M. *Sostavlenie raspisaniya uchebnykh zanyatij na osnove geneticheskogo algoritma* [Drawing up the schedule of studies on the basis of genetic algorithm]. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*. 2013; (2):93-99. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20734404> (accessed 18.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [24] Butakova S.M., Bratukhina N.A., Araslanova M.N., Kubikova N.B. Designing of the educational process in mathematics in the context of standards CDIO. *Fundamental research*. 2014; (6-7):1497-1503. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21650411> (accessed 18.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [25] Kashirina I.L., Ivanova K.G. *Upravlenie portfelem cennykh bumag s ispol'zovaniem nejrosetevogo komponenta* [Portfolio management using a neural network component]. In: *Conference Proceedings on Systemic modeling of socio-economic processes*. VSU Publ., Voronezh; 2008. Part III. p. 131-135. (In Russ.)

*Submitted 18.07.2020; approved after reviewing 15.10.2020;
accepted for publication 22.11.2020.*

About the authors:

Irina F. Astachova, Professor of the Department of Computer Hardware, Faculty of Applied Mathematics, Informatics and Mechanics, Voronezh State University (1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation), Dr.Sci. (Engineering), Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2627-8508>, astachova@list.ru
Ekaterina I. Kiseleva, Senior Lecturer of the Department of Pedagogy and Methods of Preschool and Primary Education, Psychological and Pedagogical Faculty, Voronezh State Pedagogical University (86 Lenin St., Voronezh 394043, Russian Federation), Ph.D. (Phys.-Math.), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6406-9782>, ekaterkisel@mail.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

