

УДК 004.89  
DOI: 10.25559/SITITO.16.202003.788-798

Оригинальная статья

## Адаптация гибридной интеллектуальной обучающей среды с подкреплением

П. Д. Басалин\*, Д. А. Куликов, Ю. В. Маскина

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Российская Федерация  
603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23  
\*basalin84@mail.ru

### Аннотация

Обучение рассматривается как процесс взаимодействия двух сторон. Одной стороной является виртуальный преподаватель — интеллектуальная обучающая среда, аккумулирующая в своей базе знаний дидактически и методически структурированный материал изучаемой дисциплины для передачи его обучаемому. Другой стороной является обучаемый, «погруженный» своим сознанием в обучающую среду и активно воспринимающий передаваемый ему материал, т.е. не просто укладывающий его в своем сознании (памяти), но и способствующий рациональной организации процесса обучения.

Излагаются принципы организации гибридной интеллектуальной обучающей среды, интегрирующей в себе модели, основанные на знаниях производственного типа, и нейросетевые технологии принятия решений, направленные на реализацию двух стратегий обучения: стратегии самонавигации обучаемого по материалу дисциплины и стратегии его полного подчинения интеллекту обучающей среды. Это способствует поддержанию активной роли обучаемого в формировании сценария обучения и облегчает решение проблем адаптации интеллектуальной обучающей среды к индивидуальным особенностям обучаемого, не просто адаптации с подкреплением, но и в определенной степени с учителем, в роли которого выступает обучаемый.

**Ключевые слова:** гибридная интеллектуальная обучающая среда, система, основанная на знаниях, нечеткие производственные правила, нейронная сеть прямого распространения, адаптация с подкреплением.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

**Для цитирования:** Басалин, П. Д. Адаптация гибридной интеллектуальной обучающей среды с подкреплением / П. Д. Басалин, Д. А. Куликов, Ю. В. Маскина. — DOI 10.25559/SITITO.16.202003.788-798 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2020. — Т. 16, № 3. — С. 788-798.

© Басалин П. Д., Куликов Д. А., Маскина Ю. В., 2020



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



## Adapting a Hybrid Intelligent Reinforcement Learning Environment

P. D. Basalin\*, D. A. Kulikov, Yu. V. Maskina

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation  
23 Gagarin Av., Nizhny Novgorod 603950, Russian Federation

\* basalin84@mail.ru

### Abstract

Learning is seen as the process of interaction between two sides. First one is a virtual teacher — an intellectual learning environment that accumulates in its base the didactically and methodically structured material of the specific discipline for transferring it to the student. The other side is the student who is “absorbed” by his consciousness in the learning environment and actively perceived material transferred to him, i.e. not just putting it in his mind (memory), but also conducive to the rational organization of the learning process. This article outlines the principles of organizing a hybrid intelligent learning environment, integrating models based on knowledge of the production type, and neural network technologies for decision-making based on two learning strategies: the self-navigation strategy of the student through the discipline material and the strategy of his complete submission to the intellectual learning environment. This helps to support the important role of the student in the formation of learning scenario and facilitates the solution of the problems of adapting the intellectual learning environment to the individual characteristics of the student, not only adapting with reinforcement, but also with the teacher, to a certain extent, in the role of which the student acts.

**Keywords:** hybrid intelligent learning environment, knowledge-based system, fuzzy production rules, feedforward neural network, reinforcement adaptation.

*The authors declare no conflict of interest.*

**For citation:** Basalin P.D., Kulikov D.A., Maskina Yu.V. Adapting a Hybrid Intelligent Reinforcement Learning Environment. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2020; 16(3):788-798. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITI-TO.16.202003.788-798>



## Введение

Современные федеральные государственные и самостоятельные устанавливаемые вузами образовательные стандарты [1]-[4] в качестве одной из важнейших задач рассматривают повышение социальной роли образования, реализацию студентоцентрированного принципа его организации путем формирования социокультурной среды вуза, активного использования дистанционных образовательных технологий, повышения роли самостоятельной работы студента. Особую актуальность это приобретает в современных условиях пандемии COVID19, когда дистанционный формат обучения просто необходим для реализации образовательного процесса и требует активизации работ по созданию и внедрению в учебный процесс электронных образовательных ресурсов, к которым в качестве примера можно отнести разработки преподавателей ННГУ [5]-[7].

Обучение — это интеллектуальный процесс, эффективность и рациональность которого во многом определяются организацией взаимодействия субъекта обучения (преподавателя) с обучаемым (объектом обучения) при передаче знаний по изучаемой учебной дисциплине. Конкретный сценарий развития этого процесса (рабочий сценарий), априори не известный, рождается непосредственно в ходе обучения и зависит от искусства преподавателя, сложности изучаемого материала, интеллектуальных способностей обучаемого, его мотивации к обучению, уровня предварительной подготовки, заложенной в нем психологической основы, условий обучения.

Интерактивный формат проведения лекционных занятий [8],[9] предполагает:

- самостоятельное предварительное ознакомление обучаемых с материалом, планируемым преподавателем для изучения на очередном занятии (приемлемым источником для этого может быть электронное учебное пособие с материалом лекций);
- подготовку вопросов по теме предстоящего занятия и, возможно, ранее пройденным темам, направленных на углубление понимания материала, перспектив его использования в дальнейшем образовательном процессе и будущей профессиональной деятельности;
- участие в обсуждении на занятии поднятых вопросов, в том числе и вопросов преподавателя, направленных на внесение в процесс обучения необходимых корректив и формирование у него представления о степени и глубине усвоения материала обучаемыми.

Такой подход к обучению способствует активному участию обучаемых в образовательном процессе не только в плане усвоения изучаемого материала, но и в направлении формирования рабочего сценария, наилучшим образом адаптированного к наиболее активным участникам учебного процесса. При этом рационально используется время аудиторных занятий (не на конспектирование материала лекций, а на его усвоение и попытки применения для решения конкретных проблем). Такие занятия могут принимать формы дискуссии, коллективной разработки конкретного проекта, способствующие привитию

навыков работы в команде.

Исключительно важную роль в качестве средства интеллектуальной поддержки этапа самоподготовки обучаемых к интерактивным занятиям призвана сыграть оболочка гибридной интеллектуальной обучающей среды [10],[11], способная через формализм базы знаний настраиваться на различные предметные области и генерировать индивидуальный (адаптированный к особенностям обучаемого) сценарий освоения материала.

Как отправные для авторов данной статьи можно рассматривать работы [12],[13], в которых была изложена концепция оболочки интеллектуальной обучающей среды, и рассмотрен один из возможных подходов к ее реализации, базирующийся на принципах системы, основанной на знаниях (CO3) фреймово-продукционного типа и нейросетевых технологиях принятия решений. Однако, процесс структуризации знаний в соответствии с предложенной моделью при настройке оболочки на конкретную предметную область оказался довольно громоздким и оставил открытой проблему приобретения знаний у эксперта-преподавателя. Кроме того, предложенная модель выстраивала стратегию обучения, опираясь только на долговременные (исторические) знания дидактического и методологического плана, не учитывая оперативные нечеткие знания об обучаемом.

Предпринятые в работах [10],[11] попытки адаптации к условиям применения в учебном процессе оболочки универсальной гибридной системы интеллектуальной поддержки процессов принятия решений [14],[15] выявили ряд специфических особенностей интеллектуальной поддержки процесса обучения, базирующейся на нечеткой логике принятия решений<sup>1</sup>. Рассмотрению этих особенностей и пересмотру базовых принципов реализации концепции гибридной интеллектуальной обучающей среды были посвящены статьи [16],[17]. Однако они оставили без должной глубины рассмотрения проблему адаптации обучающей среды к нечеткости оперативного плана, обусловленной индивидуальными особенностями обучаемого и проявляющейся непосредственно в процессе обучения. Исследованию природы данной проблемы и рассмотрению конкретного подхода к ее разрешению посвящена данная статья.

## Теоретическая часть

Обучение будем рассматривать как процесс взаимодействия двух сторон. Одной стороной является виртуальный преподаватель — интеллектуальная обучающая среда, аккумулирующая в своей базе знаний дидактически и методически структурированный материал изучаемой дисциплины для передачи его обучаемому. Другой стороной является обучаемый, «погруженный» своим сознанием в обучающую среду и активно воспринимающий передаваемый ему материал, т.е. не просто укладывающий его в своем сознании (памяти), но и способствующий рациональной организации процесса обучения.

Процесс обучения представим в пространстве состояний  $S$  в виде последовательности событий  $e_1, e_2, \dots, e_n$ , каждое из кото-

<sup>1</sup> Басалин П.Д., Безрук К.В., Радаева М.В. Модели и методы интеллектуальной поддержки процессов принятия решений. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. 129 с.



рых (например, событие  $e_j$ ), представляет совокупность действий ( $a_1, a_2, \dots$ ), направленных на освоение обучаемым неделимого логически законченного фрагмента изучаемого материала с возможной самооценкой (или тестированием) уровня его усвоения  $I_i$  обучаемым. Такими действиями могут быть:

- выдача на терминал компактного представления фрагмента изучаемого материала;
- выдача на терминал компактного представления фрагмента изучаемого материала с последующей самооценкой обучаемым уровня его усвоения по непрерывной шкале  $[0,1]$ ;
- выдача на терминал компактного представления фрагмента изучаемого материала с последующей объективной оценкой уровня его усвоения на основе результатов тестирования;
- выдача на терминал детального представления фрагмента изучаемого материала;
- выдача на терминал детального представления фрагмента изучаемого материала с последующей самооценкой обучаемым уровня его усвоения по непрерывной шкале  $[0,1]$ ;
- выдача на терминал детального представления фрагмента изучаемого материала с последующей объективной оценкой уровня его усвоения на основе результатов тестирования;
- выдача на терминал детального представления фрагмента изучаемого материала с поясняющими примерами, аналогиями;
- выдача на терминал детального представления фрагмента изучаемого материала с поясняющими примерами, аналогиями с последующей самооценкой обучаемым уровня его усвоения по непрерывной шкале  $[0,1]$ ;
- выдача на терминал детального представления фрагмента изучаемого материала с поясняющими примерами, аналогиями с последующей объективной оценкой уровня его усвоения на основе результатов тестирования;
- выдача на терминал детального представления фрагмента изучаемого материала в контексте с базовыми подводящими понятиями;
- выдача на терминал детального представления фрагмента изучаемого материала в контексте с базовыми подводящими понятиями с последующей самооценкой обучаемым уровня его усвоения по непрерывной шкале  $[0,1]$ ;
- выдача на терминал детального представления фрагмента изучаемого материала в контексте с базовыми подводящими понятиями с последующей объективной оценкой уровня его усвоения на основе результатов тестирования;
- возврат и повтор уже пройденных фрагментов материала.

Все указанные действия поступают в распоряжение как интеллектуальной обучающей среды (при активизации ею очередного события  $e_j$ ), так и обучаемого. Однако право приоритета задействовать какое-то из них отдается обучаемому, который при желании может переадресовать его интеллектуальной обучающей среде.

Такой подход позволяет использовать гибкое сочетание двух стратегий обучения: стратегию самонавигации обучаемого по материалу дисциплины и стратегию его полного подчинения интеллекту обучающей среды («ведет» среда). Это способствует

поддержанию активной роли обучаемого в формировании сценария обучения и облегчает решение проблем адаптации интеллектуальной обучающей среды к индивидуальным особенностям обучаемого (получается не просто адаптация с подкреплением, но и в определенной степени с учителем, в роли которого выступает обучаемый) [18]-[21].

База знаний аналитической части гибридной интеллектуальной обучающей среды интегрирует в себе две составляющие. Одна отражает логику (возможно нечеткую) эксперта-преподавателя, определяющую в виде набора продукционных правил (в общем случае нечетких) условия активации событий и действий, направленных на их реализацию. Следует заметить, что в работах [9], [10] количество действий ограничивалось только двумя (компактное и детальное представление фрагмента изучаемого материала), и каждое из них рассматривалось как отдельное событие. В данной работе набор действий расширен, и каждое из них рассматривается как составная часть события, направленная на его реализацию (для активации каждого действия предусмотрено свое продукционное правило).

В результате срабатывания правила, связанного с выполнением какого-то действия, формируется значение исхода соответствующего события. Под исходом  $r_i$  события  $e_i$  понимается результат нечеткой операции логического следования уровня его усвоения  $I_i$  из исходов событий, указанных в antecedенте правила. Значение  $I_i$  получается как результат самооценки обучаемым или объективной оценки на основе тестирования уровня усвоения материала по непрерывной шкале  $[0,1]$ . В случае отсутствия операций самооценки или тестирования, сопровождающих выдачу фрагмента изучаемого материала, значение  $I_i$  по умолчанию принимается равным 1.

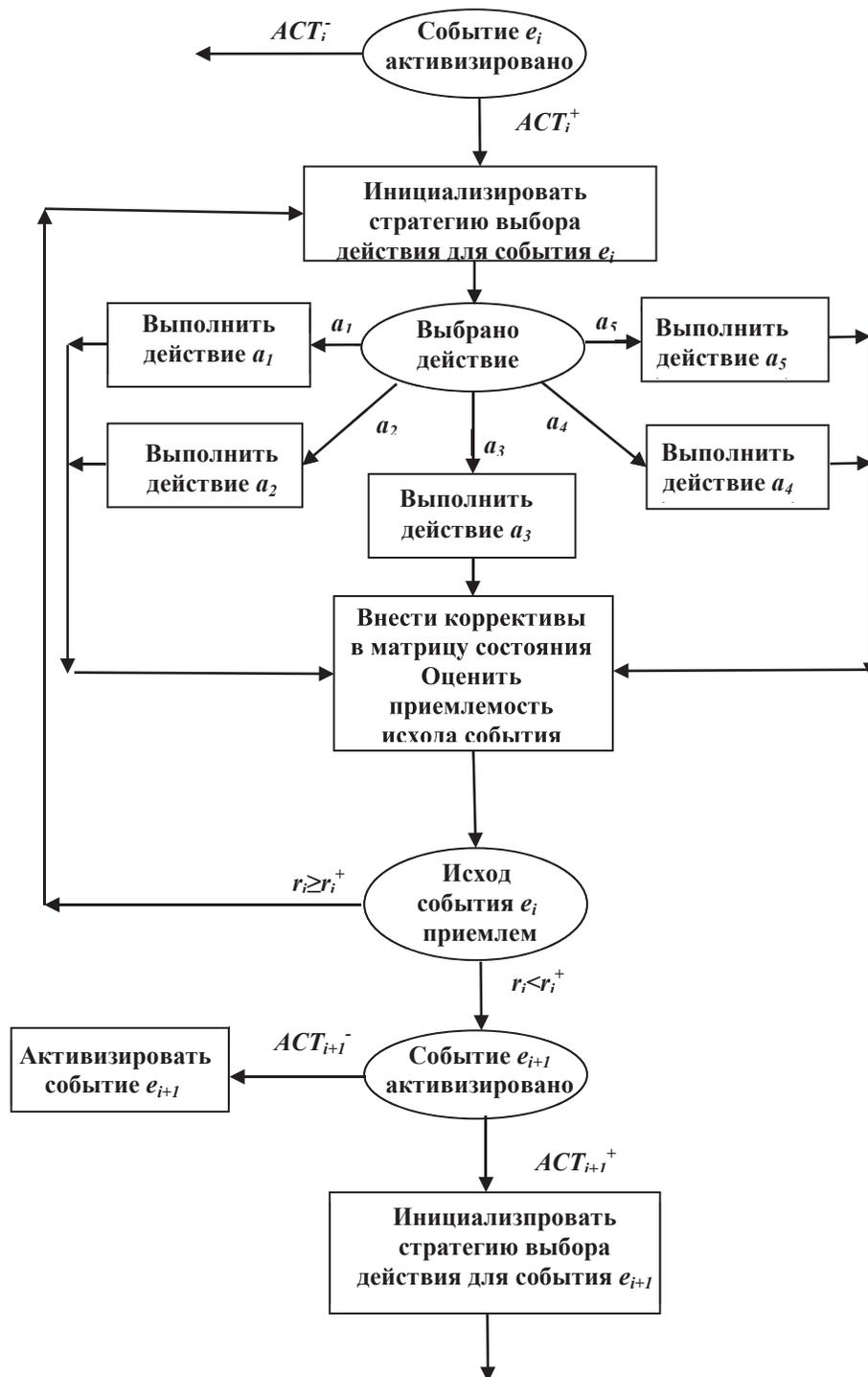
Исход события  $r_i$  интерпретируется как коэффициент уверенности усвоения материала события  $e_i$ . Имя каждого активизированного события и значение его исхода (коэффициента уверенности), полученное после выполнения очередного действия, фиксируются в рабочей памяти системы, меняя ее состояние. В качестве критерия прекращения действий, направленных на реализацию  $i$ -го события, используется назначаемое обучаемым мотивированное пороговое значение исхода события  $r_i^*$ . Если в результате очередного действия получается  $r_i < r_i^*$ , вырабатывается признак  $r_i$ ; событие  $e_i$  считается незавершенным и процесс его реализации продолжается. В противном случае вырабатывается признак  $r_i^*$  и событие  $e_i$  считается завершенным.

Таким образом, база правил отражает логику рассуждений эксперта-преподавателя (ее структуру), получая данные (коэффициенты уверенности), необходимые для срабатывания правил и оценки их результатов непосредственно в процессе обучения.

Другая составляющая базы знаний представляет перечень возможных действий, связанных с активизацией каждого события, т.е. определяет состояние неопределенности, связанное с нечеткостью, заложенной в обучаемом. Стратегия выбора конкретного действия может базироваться на обучении с подкреплением или частично с учителем, в роли которого выступает обучаемый [22]-[25].

Для описания знаний эксперта на инфологическом уровне использован формализм графа решений [11], позволяющий





Р и с. 1. Фрагмент графа решений, представляющего нечеткую логику формирования сценария обучения на инфологическом уровне  
 Fig. 1. Fragment of a decision graph representing the fuzzy logic of the formation of a learning scenario at the infological level



компактно и наглядно представить нечеткую логику рассуждений эксперта до уровня нечеткости, обусловленной индивидуальными особенностями обучаемых. При этом помимо традиционных вершин выводов, связанных с выполнением конкретных действий, в нем присутствуют вершины-прямоугольники, отправляющие к эвристикам стратегии разрешения неопределенности при выборе очередного действия.

На рисунке 1 в качестве примера приведен фрагмент графа решений, представляющего нечеткую логику формирования сценария обучения на инфологическом уровне ( $ACT_i^-$  и  $ACT_i^+$  — соответственно, сигналы не активизированного и активизированного события  $e_i$ ).

Нетрадиционные вершины выводов, связанные с инициализацией стратегий выбора действий, следует рассматривать как вершины, имеющие свою внутреннюю структуру в виде локального графа решений, описывающего логику рассуждений, положенную в основу стратегии выбора действия. В таком случае, рассматривая общее представление знаний на инфологическом уровне, следует оперировать понятием иерархического графа решений в отличие от простого графа решений. Правила, сгенерированные по фрагменту графа решений, представленному на рисунке 1, выглядят следующим образом:

ЕСЛИ Событие  $e_i$  не активизировано  
ТО Активизировать событие  $e_i$

ЕСЛИ Событие  $e_i$  активизировано  
ТО Инициализировать стратегию выбора действия для события  $e_i$

ЕСЛИ Стратегия выбора действия для события  $e_i$  инициализирована  
И Выбрано действие  $a_1$   
ТО Выполнить действие  $a_1$

ЕСЛИ Стратегия выбора действия для события  $e_i$  инициализирована  
И Выбрано действие  $a_2$   
ТО Выполнить действие  $a_2$

ЕСЛИ Стратегия выбора действия для события  $e_i$  инициализирована  
И Выбрано действие  $a_3$   
ТО Выполнить действие  $a_3$

ЕСЛИ Стратегия выбора действия для события  $e_i$  инициализирована  
И Выбрано действие  $a_4$   
ТО Выполнить действие  $a_4$

ЕСЛИ Стратегия выбора действия для события  $e_i$  инициализирована  
И Выбрано действие  $a_5$   
ТО Выполнить действие  $a_5$

ЕСЛИ Внесены коррективы в матрицу состояния и оценена приемлемость исхода события  
И Исход события  $e_i$  приемлем

И Событие  $e_{i+1}$  не активизировано  
ТО Активизировать событие  $e_{i+1}$

ЕСЛИ Внесены коррективы в матрицу состояния и оценена приемлемость исхода события  
И Исход события  $e_i$  приемлем  
И Событие  $e_{i+1}$  активизировано  
ТО Инициализировать стратегию выбора действия для события  $e_{i+1}$

ЕСЛИ Внесены коррективы в матрицу состояния и оценена приемлемость исхода события  
И Исход события  $e_i$  не приемлем  
ТО Инициализировать стратегию выбора действия для события  $e_i$

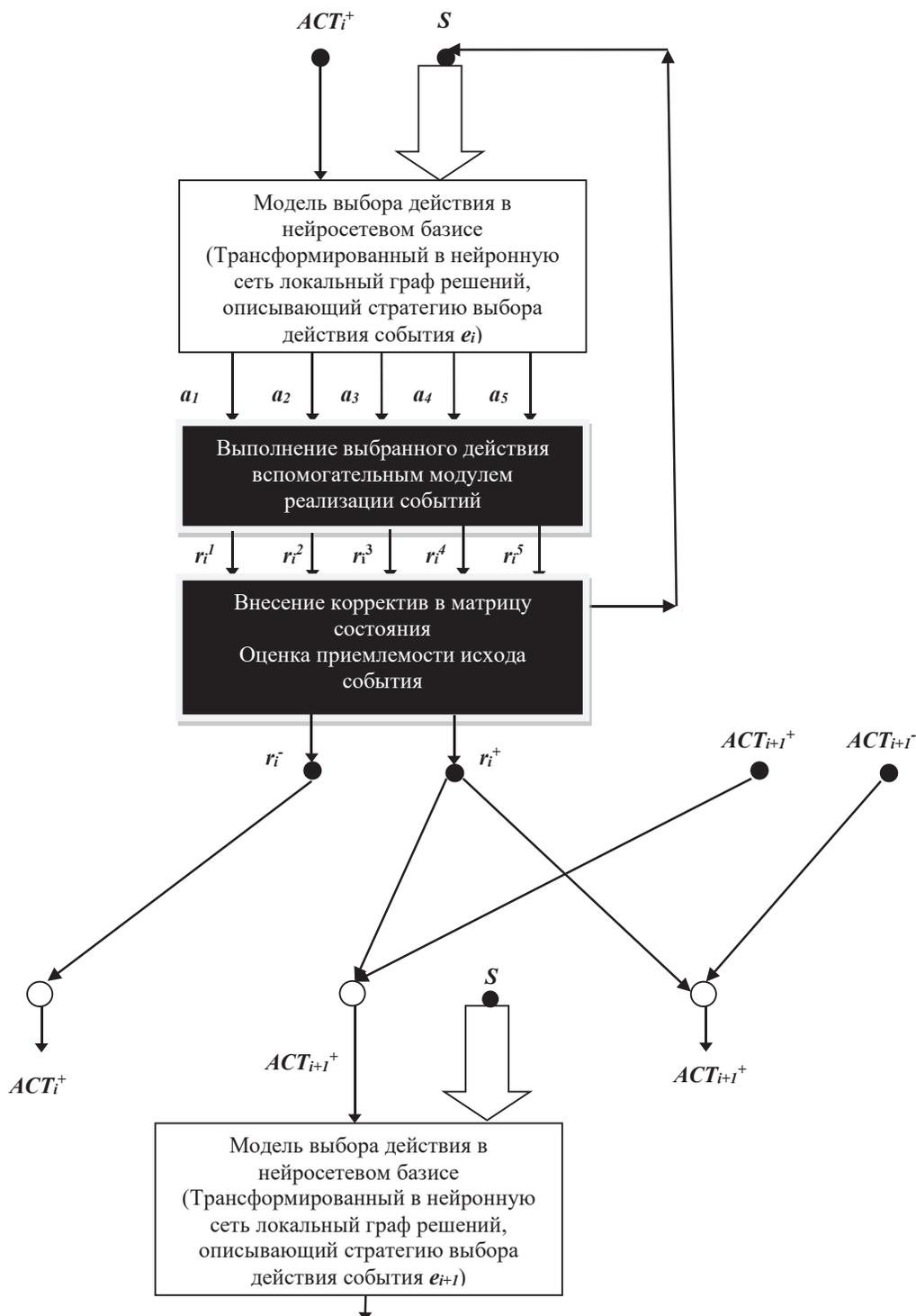
Рабочий сценарий обучения реализуется как марковский процесс в дискретном пространстве состояний, в котором переход в следующее состояние связан со срабатыванием очередного продукционного правила (выполнением очередного действия), условия активации которого в текущем состоянии выполняются.

Рабочая память интеллектуальной обучающей среды, фиксирующая состояния процесса обучения, представлена матрицей состояний  $S$ , столбцам которой поставлены в соответствие идентификаторы событий, строкам — идентификаторы действий, направленных на реализацию событий. Элемент  $s_{ji}$  матрицы  $S$  фиксирует исход события  $e_i$  как результат выполнения действия  $a_j$ , т.е.  $s_{ji}=r_i$  после выполнения действия  $a_j$ . Перед началом логического вывода матрица состояний пуста. В процессе идентификации и срабатывания правил ее элементы (начиная с первого столбца) принимают значения исходов событий как результатов выполнения действий, направленных на их реализацию. По завершению процесса обучения оказываются заполненными соответствующим образом (с учетом стратегии подкрепления) все столбцы матрицы. Содержимое матрицы состояний используется в качестве информационного обеспечения процесса, реализующего стратегию выбора действий при активизации и реализации очередного события. Эта стратегия представлена набором продукционных правил, построенных на основе локальных графов решений.

Если ввести вектор затрат на выполнение всех возможных действий, направленных на реализацию события  $e_i$   $E_i=(E_{i1}, E_{i2}, \dots)$ , то затраты на освоение фрагмента материала дисциплины, связанного с этим событием, при условии однократной активации любого типа действий можно определить как  $P_i=E_i \cdot S_i / \|S_i\|$ , где  $S_i$  —  $i$ -тый вектор-столбец матрицы состояний, а  $\|S_i\|$  — его норма. Эта информация может быть использована для адаптации с подкреплением при формировании логики рассуждений, закладываемой в основу стратегии выбора действий.

Помимо набора продукционных правил (для аналитической составляющей) подсистема приобретения знаний оболочки гибридной интеллектуальной обучающей среды формирует (в качестве основы синтетической составляющей) нейронную сеть прямого распространения, эквивалентную по логике





Р и с. 2. Схематическое представление нейронной сети, сформированное по графу решений

F i g. 2. Schematic representation of a neural network formed from a decision graph



«рассуждений» исходному графу решений. Для случая простого графа это делается следующим образом:

- каждой вершине вывода ставится в соответствие свой нейрон, на выходе которого формируется исход связанного с ним действия (события) после его активизации (в качестве активационной функции нейрона выступает нечеткая операция логического следования уровня усвоения материала события из исходов событий, поступивших на его входы);
- каждой вершине условия сходящейся к вершине вывода непрерывной цепочки вершин-овалов, а также вершине промежуточного вывода, с которой может начинаться цепочка, ставится в соответствие входная ветвь нейрона;
- нейроны располагаются по слоям согласно правилу: каждый нейрон последующего слоя должен иметь входные связи только с нейронами предшествующих слоев и хотя бы одну входную связь с каким-нибудь нейроном предыдущего, смежного с ним слоя;
- каждому выходу из вершины условия графа решений ставится в соответствие нейрон сенсорного слоя, ретранслирующий входной сигнал на нейроны последующих слоев в соответствии со структурой сгенерированной нейронной сети;
- сигналы выходов всех нейронов промежуточных слоев выводятся на нейроны моторного слоя, соответствующие получаемым заключениям и использующие в качестве активационной функции максимум из входных сигналов.

В качестве примера на рисунке 2 дано схематическое представление в нейросетевом базисе фрагмента графа решений, представленного на рисунке 1. Схема отражает параллельное потактовое функционирование нейросетевой составляющей, управляющей процессом обучения, и вспомогательного программного модуля, реализующего действия и коррекцию некоторых из управляющих сигналов, изображенные на черных полях рисунка.

Следует заметить, что все функции потактового формирования рабочего сценария обучения полностью обеспечиваются структурой нейронной сети, не требуя управления какими-либо ее параметрами (синаптическими весами, порогами и параметрами активационных функций нейронов).

## Реализация

Рассмотренный вариант организации гибридной интеллектуальной обучающей среды в настоящее время проходит стадию программной реализации и отладочной эксплуатации в виде оболочки, способной через формализм базы знаний настраиваться на различные предметные области.

В качестве языков программирования выбраны Java и Python, которые разрабатываются в средах IntelliJ IDEA и VS Code соответственно. Использование двух инструментов связано с тем, что мы видим реализацию гибридной интеллектуальной обучающей среды в виде веб-приложения, которое имеет микросервисную архитектуру. Данное решение помогает добиться удобства в процессе разработки благодаря тому, что все приложение разбито на множество компонент (сервисов), которые можно создавать параллельно.

## Список использованных источников

- [1] Захарова, И. В. Опыт актуализации образовательных стандартов высшего образования в области ИКТ / И. В. Захарова, О. А. Кузенков. — DOI 10.25559/SITITO.2017.4.510 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2017. — Т. 13, № 4. — С. 46-57. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30725847> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [2] Кузенков, О. А. Модернизация математических программ на основе российских и международных стандартов / О. А. Кузенков, И. В. Захарова. — DOI 10.25559/SITITO.14.201801.233-244 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2018. — Т. 14, № 1. — С. 233-244. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35050063> (дата обращения: 19.07.2020).
- [3] Гергель, В. П. Разработка самостоятельно устанавливаемых образовательных стандартов Нижегородского государственного университета в области информационно-коммуникационных технологий / В. П. Гергель, О. А. Кузенков // Школа будущего. — 2012. — № 4. — С. 100-105. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17926157> 35050063 (дата обращения: 19.07.2020).
- [4] Гугина, Е. В. Образовательные стандарты Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского / Е. В. Гугина, О. А. Кузенков // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2014. — № 3-4. — С. 39-44. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22862964> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [5] Кузенков, О. А. Использование электронных средств обучения при модернизации курса "Математическое моделирование процессов отбора" / О. А. Кузенков, Г. В. Кузенкова, Т. П. Киселева // Образовательные технологии и общество. — 2018. — Т. 21, № 1. — С. 435-448. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32253185> (дата обращения: 19.07.2020).
- [6] Грезина, А. В. Использование современных технологий в преподавании физики при подготовке бакалавров / А. В. Грезина, А. Г. Панасенко. — DOI 10.25559/SITITO.14.201801.293-303 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2018. — Т. 14, № 1. — С. 293-303. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35050068> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [7] Грезина, А. В. Электронный образовательный контент, предназначенный для формирования профессиональных компетенций бакалавров направления подготовки «Прикладная математика и информатика» / А. В. Грезина, А. Г. Панасенко // Образовательные технологии и общество. — 2019. — Т. 22, № 1. — С. 198-208. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37037795> (дата обращения: 19.07.2020).
- [8] Басалин, П. Д. Интерактивные формы обучения в образовательном процессе / П. Д. Басалин, И. И. Белоусова // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2014. — № 3-4. — С. 18-21. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22862959> (дата обращения: 19.07.2020).



- 19.07.2020). — Рез. англ.
- [9] Басалин, П. Д. Интерактивные формы обучения компьютерным наукам / П. Д. Басалин, А. Е. Тимофеев // Преподавание математики и компьютерных наук в высшей школе / Под ред. Е. К. Хеннера. — Пермь: ПГНИУ, 2017. — С. 4-8. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29943009> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [10] Басалин, П. Д. Оболочка гибридной интеллектуальной обучающей среды продукционного типа / П. Д. Басалин, А. Е. Тимофеев // Образовательные технологии и общество. — 2018. — Т. 21, № 1. — С. 396-405. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32253182> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [11] Басалин, П. Д. Реализация гибридной интеллектуальной обучающей среды продукционного типа / П. Д. Басалин, Е. А. Кумагина, Е. А. Неймарк, А. Е. Тимофеев, И. А. Фомина, Н. Н. Чернышова. — DOI 10.25559/SITITO.14.201801.256-267 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2018. — Т. 14, № 1. — С. 256-267. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35050065> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [12] Басалин, П. Д. Организация интеллектуальной обучающей среды с применением новых информационных технологий // Вестник ВГАВТ. Межвузовская серия «Моделирование и оптимизация сложных систем». — Н. Новгород, 2002. — С. 21-25.
- [13] Басалин, П. Д. ИТ-образование с применением интеллектуальной обучающей среды / П. Д. Басалин, Е. А. Кумагина, Е. А. Неймарк, А. Е. Тимофеев, И. А. Фомина, Н. Н. Чернышова. — DOI 10.25559/SITITO.2017.4.384 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2017. — Т. 13, № 4. — С. 105-111. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30725852> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [14] Басалин, П. Д. Архитектура оболочки гибридной системы интеллектуальной поддержки процессов принятия решений / П. Д. Басалин, К. В. Безрук // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2012. — № 8. — С. 26-35. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17997728> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [15] Басалин, П. Д. Оболочка гибридной системы интеллектуальной поддержки процессов принятия решений / П. Д. Басалин, А. Е. Тимофеев // Системы управления и информационные технологии. — 2018. — № 1(71). — С. 24-28. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32614303> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [16] Басалин, П. Д. Интеллектуальные образовательные технологии в учебном процессе / П. Д. Басалин, П. Ю. Белокрылов, А. С. Плехов, А. Я. Тимофеев, Д. А. Яшунин // Образовательные технологии и общество. — 2019. — Т. 22, № 4. — С. 186-196. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41233714> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [17] Басалин, П. Д. Нечеткие модели функционирования гибридной интеллектуальной обучающей среды продукционного типа / П. Д. Басалин, А. Е. Тимофеев // International Journal of Open Information Technologies. — 2019. — Т. 7, № 2. — С. 49-55. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36915740> (дата обращения: 19.07.2020). — Рез. англ.
- [18] 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://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-46895-8\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-46895-8_1) (дата обращения: 19.07.2020).
- [19] Harrer, A. Hybrid Learning Communities in Agent-Based Intelligent Distributed Learning Environments / A. Harrer. — DOI 10.1007/978-94-017-1177-7\_10 // Cooperative Agents. Theory and Decision Library (Series A: Philosophy and Methodology of the Social Sciences); N. J. Saam, B. Schmidt (ed.) Springer, Dordrecht. — 2001. — Vol. 32. — Pp. 165-182. — URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-1177-7\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-1177-7_10) (дата обращения: 19.07.2020).
- [20] Grosan, C. Hybrid Intelligent Systems. In: Intelligent Systems / C. Grosan, A. Abraham. — DOI 10.1007/978-3-642-21004-4\_17 // Intelligent Systems Reference Library. Springer, Berlin, Heidelberg. — 2011. — Vol. 17. — Pp. 423-450. — URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-21004-4\\_17](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-21004-4_17) (дата обращения: 19.07.2020).
- [21] Pugliesi, J. B. Intelligent hybrid system for a training and teaching environment / J. B. Pugliesi, S. O. Rezende. — DOI 10.1109/ICCIMA.1999.798519 // Proceedings Third International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications. ICCIMA'99 (Cat. No. PR00300). — New Delhi, India, 1999. — Pp. 148-152. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/798519> (дата обращения: 19.07.2020).
- [22] Negoita, M. Practical Implementation Aspects Regarding Real-World Application of Hybrid Intelligent Systems / M. Negoita, D. Neagu, V. Palade. — DOI 10.1007/978-3-540-32369-3\_6 // Computational Intelligence. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Springer, Berlin, Heidelberg. — 2005. — Vol. 174. — Pp. 71-150. — URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-32369-3\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-32369-3_6) (дата обращения: 19.07.2020).
- [23] Zhou, Z. An intelligent teaching assistant system using deep learning technologies / Z. Zhou. — DOI 10.1145/3409073.3409079 // Proceedings of the 2020 5th International Conference on Machine Learning Technologies (ICMLT 2020). — Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2020. — Pp. 18-22. — URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3409073.3409079> (дата обращения: 19.07.2020).
- [24] Hadsell, R. Embracing Change: Continual Learning in Deep Neural Networks / R. Hadsell, D. Rao, A. A. Rusu, R. Pascanu. — DOI 10.1016/j.tics.2020.09.004 // Trends in Cognitive Sciences. — 2020. — Vol. 24, issue 12. — Pp. 1028-1040. — URL: <https://www.cell.com/trends/cog>



- nitive-sciences/fulltext/S1364-6613(20)30219-9 (дата обращения: 19.07.2020).
- [25] Botvinick, M. Reinforcement Learning, Fast and Slow / M. Botvinick, S. Ritter, J. X. Wang, Z. Kurth-Nelson, Ch. Blundell, D. Hassabis. — DOI 10.1016/j.tics.2019.02.006 // Trends in Cognitive Sciences. — 2019. — Vol. 23, issue 5. — Pp. 408-422. — URL: [https://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613\(19\)30061-0](https://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613(19)30061-0) (дата обращения: 19.07.2020).
- Поступила 19.07.2020; одобрена после рецензирования 24.09.2020; принята к публикации 16.10.2020.*
- Об авторах:**
- Басалин Павел Дмитриевич**, доцент кафедры информатики и автоматизации научных исследований, Институт информационных технологий, математики и механики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4703-6687>, [basalin84@mail.ru](mailto:basalin84@mail.ru)
- Куликов Дмитрий Александрович**, студент кафедры информатики и автоматизации научных исследований, Институт информационных технологий, математики и механики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9661-9056>, [vulfcorp@mail.ru](mailto:vulfcorp@mail.ru)
- Маскина Юлия Владимировна**, студент кафедры информатики и автоматизации научных исследований, Институт информационных технологий, математики и механики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0567-8227>, [maskina.yulya@yandex.ru](mailto:maskina.yulya@yandex.ru)
- Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*
- References**
- [1] Zakharova I.V., Kuzenkov O.A. The Experience of Updating the Educational Standards of Higher Education in the Field of ICT. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2017; 13(4):46-57. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.2017.4.510>
- [2] Kuzenkov O.A., Zakharova I.V. Mathematical Programs Modernization Based on Russian and International Standards. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2018; 14(1):233-244. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.233-244>
- [3] Gergel V.P., Kuzenkov O.A. *Razrabotka samostojatel'no ustanavlivaemyh obrazovatel'nyh standartov Nizhegorodskogo gosuniversiteta v oblasti informacionno-kommunikacionnyh tehnologij* [Development of independently established educational standards of the Nizhny Novgorod State University in the field of information and communication technologies]. *School of the Future*. 2012; (4):100-105. Available at: [https://elibrary.ru/item.asp?id=17926157\\_35050063](https://elibrary.ru/item.asp?id=17926157_35050063) (accessed 19.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [4] Gugina E.V., Kuzenkov O.A. Educational Standards of the Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2014; (3-4):39-44. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22862964> (accessed 19.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [5] Kuzenkov O.A., Kuzenkova G.V., Kiseleva T.P. *Ispol'zovanie jelektronnyh sredstv obuchenija pri modernizacii kursa "Matematicheskoe modelirovanie processov otbora"* [The use of electronic teaching aids in the modernization of the course "Mathematical modeling of selection processes"]. *Educational Technology & Society*. 2018; 21(1):435-448. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32253185> (accessed 19.07.2020). (In Russ.)
- [6] Grezina A.V., Panasenko A.G. Use of Modern Technologies in Teaching Physics During Education of Bachelors. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2018; 14(1):293-303. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.293-303>
- [7] Grezina A.V., Panasenko A.G. *Jelektronnyj obrazovatel'nyj kontent, prednaznachennyj dlja formirovanija professional'nyh kompetencij bakalavrov napravlenija podgotovki "Prikladnaja matematika i informatika"* [Electronic educational content intended for the formation of professional competencies of bachelors of the direction of training "Applied Mathematics and Informatics"]. *Educational Technology & Society*. 2019; 22(1):198-208. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37037795> (accessed 19.07.2020). (In Russ.)
- [8] Basalin P.D., Belousova I.I. Interactive Learning Forms in the Educational Process. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2014; (3-4):18-21. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22862959> (accessed 19.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [9] Basalin P.D., Timofeev A.E. Computer Science Interactive Learning. In: Khenner E.K. (ed.) *Proceedings on Teaching Mathematics and Computer Science in Higher Education*. PSU, Perm; 2017. p. 4-8. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29943009> (accessed 19.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [10] Basalin P.D., Timofeev A.E. Obolochka gibridnoj intellektual'noj obuchajushhej sredy produkcionnogo tipa [Production-Type Hybrid Intelligent Learning Environment Wrapper]. *Educational Technology & Society*. 2018; 21(1):396-405. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32253182> (accessed 19.07.2020). (In Russ.)
- [11] Basalin P.D., Kumagina E.A., Neumark E.A., Timofeev A.E., Fomina I.A., Chernyshova N.N. Ule-based Hybrid Intelligent Learning Environment Implementation. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2018; 14(1):256-267.



- (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.256-267>
- [12] Basalin P.D. *Organizacija intelektual'noj obuchajushhej sredy s primeneniem novyh informacionnyh tehnologij* [Organization of an intellectual learning environment using new information technologies]. *Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport*. Nizhny Novgorod; 2002. p. 21-25. (In Russ.)
- [13] Basalin P.D., Kumagina E.A., Neumark E.A., Timofeev A.E., Fomina I.A., Chernyshova N.N. IT-education Using Intelligent Learning Environments. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2017; 13(4):105-111. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.2017.4.384>
- [14] Basalin P.D., Bezruk K.V. Hybrid Intellectual Decision Making Support System Architecture. *Neurocomputers*. 2012; (8):26-35. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17997728> (accessed 19.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [15] Basalin P.D., Timofeev A.E. Hybrid Intelligent Decision Support System Shell. *Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii = Automation and Remote Control*. 2018; (1):24-28. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32614303> (accessed 19.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [16] Basalin P.D., Belokrylov P.Yu., Plekhov A.S., Timofeev A.Ya., Yashunin D.A. *Intellektual'nye obrazovatel'nye tehnologii v uchebnom processe* [Intellectual educational technologies in the educational process]. *Educational Technology & Society*. 2019; 22(4):186-196. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41233714> (accessed 19.07.2020). (In Russ.)
- [17] Basalin P.D., Timofeev A.E. Fuzzy Models for the Functioning of the Rule-Based Hybrid Intelligent Learning Environment. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019; 7(2):49-55. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36915740> (accessed 19.07.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [18] 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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-46895-8_1)
- [19] Harrer A. Hybrid Learning Communities in Agent-Based Intelligent Distributed Learning Environments. In: Saam N.J., Schmidt B. (ed.) *Cooperative Agents*. *Theory and Decision Library (Series A: Philosophy and Methodology of the Social Sciences)*. 2001; 32:165-182. Springer, Dordrecht. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1177-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1177-7_10)
- [20] Grosan C., Abraham A. Hybrid Intelligent Systems. In: *Intelligent Systems Reference Library*. 2011; 17:423-450. Springer, Berlin, Heidelberg. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-21004-4\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21004-4_17)
- [21] Pugliesi J.B., Rezende S.O. Intelligent hybrid system for a training and teaching environment. In: *Proceedings Third International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications*. ICCIMA'99 (Cat. No.PR00300). New Delhi, India; 1999. p. 148-152. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCIMA.1999.798519>
- [22] Negoita M., Neagu D., Palade V. Practical Implementation Aspects Regarding Real-World Application of Hybrid Intelligent Systems. In: *Computational Intelligence. Studies in Fuzziness and Soft Computing*. 2005; 174:71-150. Springer, Berlin, Heidelberg. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-32369-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-32369-3_6)
- [23] Zhou Z. An intelligent teaching assistant system using deep learning technologies. In: *Proceedings of the 2020 5th International Conference on Machine Learning Technologies (ICMLT 2020)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA; 2020. p. 18-22. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1145/3409073.3409079>
- [24] Hadsell R., Rao D., Rusu A.A., Pascanu R. Embracing Change: Continual Learning in Deep Neural Networks. *Trends in Cognitive Sciences*. 2020; 24(12):1028-1040. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.09.004>
- [25] Botvinick M., Ritter S., Wang J.X., Kurth-Nelson Z., Blundell Ch., Hassabis D. Reinforcement Learning, Fast and Slow. *Trends in Cognitive Sciences*. 2019; 23(5):408-422. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.02.006>

Submitted 19.07.2020; approved after reviewing 24.09.2020;  
accepted for publication 16.10.2020.

#### About the authors:

**Pavel D. Basalin**, Associate Professor of the Department of Informatics and Automation of Scientific Research, Institute of Information Technology, Mathematics and Mechanics, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (23 Gagarin Av., Nizhny Novgorod 603950, Russian Federation), Ph.D. (Engineering), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4703-6687>, [basalin84@mail.ru](mailto:basalin84@mail.ru)

**Dmitrii A. Kulikov**, student of the Department of Informatics and Automation of Scientific Research, Institute of Information Technology, Mathematics and Mechanics, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (23 Gagarin Av., Nizhny Novgorod 603950, Russian Federation), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9661-9056>, [vulfcorp@mail.ru](mailto:vulfcorp@mail.ru)

**Yuliya V. Maskina**, student of the Department of Informatics and Automation of Scientific Research, Institute of Information Technology, Mathematics and Mechanics, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (23 Gagarin Av., Nizhny Novgorod 603950, Russian Federation), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0567-8227>, [maskina.yulya@yandex.ru](mailto:maskina.yulya@yandex.ru)

All authors have read and approved the final manuscript.

