

Оригинальная статья

УДК 004.853

DOI: 10.57070/2304-4497-2022-4(42)-19-26

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБУЧАЮЩАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА

© 2022 г. В. Н. Буинцев, И. А. Рыбенко, Е. А. Мартусевич, Д. Ю. Белавенцева

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Групповое обучение в общем среднем образовании, средних и высших специальных учебных заведениях предполагает передачу знаний и освоение умений с ориентацией на «среднего» по способностям обучаемого. При этом достижение такого уровня обученности как навыки в принципе невозможно. Уровень навыков требует, как правило, индивидуального обучения с применением разного рода обучающе-тренирующих систем совместно с методикой итеративного научения. Пандемия коронавируса (COVID-19) и переход на дистанционную форму обучения активизировал разработку информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) обучения без присутствия учителя. Все это обуславливает актуальность разработки автоматической системы обучения на базе экспертной системы, обеспечивающей при отсутствии преподавателя достижение максимального для каждого обучаемого необходимого уровня обученности в зависимости от его интеллекта. Предложена структура автоматической обучающей системы, обеспечивающей усвоение учебного материала до заданного уровня обученности без участия преподавателя. На примере использования такой системы для обучения операторов дуговой сталеплавильной печи (ДСП) показана работа элементов системы: модели – имитатора объекта, блоков анализа ошибок обучаемого, синтеза обучающей информации, а также функций баз данных и знаний. Отдельно рассмотрены вопросы получения и формализации знаний экспертов (учителей). Приведены примеры формирования фреймов знаний для обучения сталеваров ДСП. Для обучения процессу шихтовки электросталеплавильного процесса необходим 81 фрейм информации, обеспечивающий учебные комментарии для всевозможных ошибок обучаемых.

Ключевые слова: обучение, дистанционное обучение, обучение без учителя, автоматическая система обучения, экспертная система, формализация знаний

Для цитирования: Буинцев В.Н., Рыбенко И.А., Мартусевич Е.А., Белавенцева Д.Ю. Автоматическая обучающая экспертная система // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2022. № 4 (42). С. 19 – 26. [https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4\(42\)-19-26](https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4(42)-19-26)

Original article

AUTOMATIC TRAINING EXPERT SYSTEM

© 2022 V. N. Buintsev, I. A. Rybenko, E. A. Martusevich, D. Y. Belaventseva

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass, 654007, Russian Federation)

Abstract. Group training in general secondary education, secondary and higher specialized educational institutions involves the transfer of knowledge and the development of skills, with an orientation to the "average" according to the abilities of the student. At the same time, achieving such a level of training as "skills" is, in principle, impossible. The level of skills requires, as a rule, individual training with the use of various kinds of teaching and training systems together with the method of iterative learning. The coronavirus pandemic (COVID-19) and the transition to distance learning have intensified the development of information and

communication technologies (ICT) for teaching without the presence of a teacher. All this determines the relevance of the development of an automatic training system based on an expert system that ensures, in the absence of a teacher, the achievement of the maximum for each student, depending on his intelligence, the required level of training. In this paper, the structure of an automatic learning system is proposed, which ensures the assimilation of educational material to a given level of learning without the participation of a teacher. Using the example of using such a system for training operators of an arc steelmaking furnace, the work of the system elements is shown: the object simulator model, the trainee error analysis blocks, the synthesis of training information, as well as database and knowledge functions. The issues of obtaining and formalizing the knowledge of expert teachers are considered separately. Examples of the formation of knowledge frames for the training of chipboard steelworkers are given. For example, to teach the process of mixing an electric steelmaking process, 81 frames of information are needed, providing educational comments for all kinds of mistakes of the trainees. Conclusions were drawn based on the results of the work.

Keywords: learning, distance learning, teaching without a teacher, automatic learning system, expert system, knowledge formalization

For citation: Buintsev V.N., Rybenko I.A., Martusevich E.A., Belaventseva D.Y. Automatic training expert system. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2022, no. 4 (42), pp. 19 – 26. (In Russ.). [https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4\(42\)-19-26](https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4(42)-19-26)

Введение

В настоящее время автоматизированное приобретение знаний и умений получило широкое распространение в связи с развитием IT-индустрии, а также в результате новых прикладных достижений в области программно-информационных разработок, определяющих современное развитие различных отраслей жизнедеятельности общества. Развитие современных IT-технологий открывает новые возможности в проектировании и высокоуровневой реализации современных программных комплексов, предназначенных для организации обучения с использованием элементов искусственного интеллекта [1].

Как известно из работы [2], имеется три уровня обученности: знания, умения и навыки. Уровень знания – когда обучаемый может воспроизвести ранее полученные знания; уровень умения – когда обучаемый умеет решать практические задачи с использованием ранее полученных знаний; уровень навыков – когда обучаемый решает практические задачи «автоматически», то есть не задумываясь.

Существующая в РФ система образования, как в школе, так в средних и высших профессиональных учебных организациях максимально доводит обучаемых до уровня умений. Уровень навыков требует, как правило, индивидуального обучения с применением разного рода обучающе-тренирующих систем совместно с методикой итеративного научения [3]. Для управления процессом обучения в тренирующей системе должен принимать участие опытный тренер-учитель (наставник), как правило, крайне дефицитная должность. Для исключения «человеческого» фактора и автоматизации процесса управления обучением на компьютерных тренажерах удобнее всего использовать экспертную систему с использованием концепции программированного обучения.

В 1954 г. Б. Скиннер (США) сделал доклад [4], где изложил концепцию программированного обучения, которая заключается в самостоятельном и индивидуальном усвоении знаний и умений по обучающей программе с помощью традиционных учебных средств, а также вычислительных устройств, в том числе компьютера. В традиционном варианте обучения обучающийся обычно читает, а затем воспроизводит текст учебника, при этом работа по воспроизведению полученных знаний почти никак не управляется и не регламентируется. Идея программированного обучения состоит в управлении учебными действиями ученика с помощью обучающей программы – ключевого понятия системы программированного обучения, согласно которой обучение идет по принципу «стимул – реакция – подкрепление», то есть ученику предъявляется материал, который стимулирует его проводить определенные познавательные действия с этим материалом, и эти действия тут же получают оценку или комментариев наставника. Также принципы программированного обучения приобрели большое распространение при получении навыков управления сложными технологическими процессами на компьютерных тренажерах [5].

Пандемия коронавируса (COVID-19) и переход на дистанционную форму обучения активизировал разработку информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) обучения без присутствия учителя. В этом случае чаще всего используются традиционные педагогические технологии и методы [6]: передача обучаемому текстовой или видеoinформации о новой учебной теме, выдача общих рекомендаций на практическое самостоятельное решение ряда задач, которые впоследствии можно проверить дистанционно. В дополнение к этому часто используется

компьютерное тестирование обучаемого по ранее пройденной теме.

Для реализации этой технологии разработана масса компьютерных программ разного качества и назначения. Однако практическое внедрение этих программ привело к резкому увеличению рутинной нагрузки на преподавателей-тьюторов и снижению уровня обученности учеников. При дистанционном обучении человек выбирает для себя свой ритм, темп и время обучения. Индивидуализация обучения требует развитой автоматизированной системы «интеллектуальных» подсказок, помощи, консультаций в течение всего периода дистанционного обучения, а это возможно только с использованием экспертных систем на основе различных алгоритмов обработки данных и искусственного интеллекта [7]. Анализ результатов исследований применения отечественных экспертных систем в области дистанционного образования показал, что рассматриваемое направление является очень актуальным, но до сих пор остается малоразвитым и малоизученным. Большая часть работ в этой области направлена на разработку систем контроля качества обучения и оценке уровня обученности [1, 8 – 10].

Обучающая экспертная система

Изначально экспертные системы разрабатывали в качестве систематизирующего хранилища знаний, накопленных многими специалистами в той или иной предметной области [11, 12]. Пионер в области экспертных систем Е.А. Фейгенбаум утверждает следующее: экспертная система – это интеллектуальная компьютерная программа, которая использует знания и процедуры вывода для решения проблем, которые настолько сложны, что для их решения требуется значительный опыт человека [13, 14]. Знания, необходимые для работы на таком уровне, плюс используемые процедуры вывода можно рассматривать как модель экспертных знаний лучших практиков в этой области [15]. Экспертные системы в основном предназначались для принятия решений в управлении сложными, плохо формализуемыми системами [16, 17], однако в восьмидесятые годы прошлого столетия они стали использоваться в обучающих и тренирующих системах [7, 18].

Разработка функционирующей экспертной системы применительно к задачам обучения связана с решением нескольких взаимосвязанных проблем:

– выбор дидактической концепции и адаптация ее к экспертной системе;

– разработка автоматической системы контроля за деятельностью обучаемого и распознавание его ошибок при решении учебных задач;

– разработка системы сбора и формализации знаний учителя-эксперта;

– синтез объяснительной системы, формирующей учебные комментарии по ходу обучения.

Рассмотрим структуру обучающей экспертной системы с использованием тренажера «Сталевар ДСП» [19]. Обучение на тренажере происходит по схеме, представленной на рис. 1:

1 – обучаемый на тренажере выполняет задания инструктора (например, выплавить заданную марку стали, провести какой-то период плавки и т.д.);

2 – тренажер моделирует ход технологического процесса по введенным обучаемым управляющим воздействиям и выдает результат;

3 – инструктор и комментарии тренажера позволяют обучаемому обнаружить и исправить сделанные ошибки.

Стоит отметить, что наиболее ответственными и сложными при управлении сталеплавильными процессами являются интеллектуальные навыки, связанные с оценкой состояния плавки и своевременным принятием решений по выбору правильных управляющих воздействий. Менее сложными являются моторные навыки. Поэтому обучение на тренажере должно основываться на достаточно глубоком знании теории и действующей технологии процесса, а также включать параллельное освоение прикладных теоретических вопросов.

При разработке автоматической обучающей экспертной системы (АОЭС) структура дополняется блоком распознавания ошибок обучаемых, базой знаний экспертов (наставников) и блоком формирования подсказок. Структура такой системы приведена на рис. 2.

Обучаемый оператор, как и в тренажере, осуществляет обучение методом проб и ошибок на модели технологического процесса. Задание на обучение он получает из базы данных через блок синтеза задач обучения.

Параллельно с обучаемым работает блок расчета оптимальных управляющих воздействий (блок «Оптимальный регулятор»). В блоке «Анализатор ошибок обучаемого» оптимальное решение сравнивается с выработанным обучаемым. Рассогласование оптимальных и учебных решений по управлению ΔX анализируется по правилам, хранимым в базе знаний, а затем с помощью блока «Синтез обучающей информации» преобразуется в подсказки обучаемому.

Рассмотрим подробнее работу этих блоков. В базу данных заносится заранее подготовленная программа обучения, представляющая собой

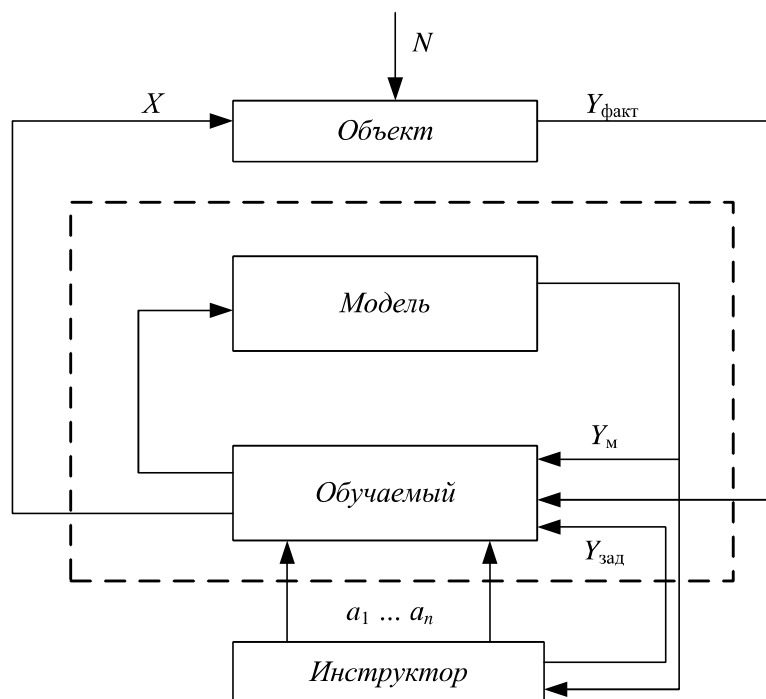


Рис. 1. Общая схема обучения на тренажере:

X и N – векторы входных управляющих параметров и помех; $Y_{\text{факт}}$, $Y_{\text{м}}$ и $Y_{\text{зад}}$ – фактическое, модельное и заданное значения выходного параметра; $a_1 \dots a_n$ – набор учебных комментариев

Fig. 1. The general scheme of training on the simulator:

X and N – vectors of input control parameters and interference; $Y_{\text{факт}}$, $Y_{\text{м}}$ and $Y_{\text{зад}}$ – actual, model and preset values of the output parameter; $a_1 \dots a_n$ – a set of training comments

упорядоченную от простого к сложному группу заданий, например по шихтовке стали различных марок. Через блок «Синтез задачи обучения» заданные значения технологических параметров передаются обучаемому, эксперту (если он есть) и в оптимальный регулятор, который на основе математических методов оптимизации рассчитывает управляющие параметры $X_{\text{оп}}$, обеспечивающие безусловное выполнение задания. Обучаемый, используя теоретические знания, свой опыт, вырабатывает собственные управляющие параметры и реализует их на модели технологического процесса. В блоке «Анализ ошибок обучения» проводится сравнение оптимальных управлений $X_{\text{оп}}$ с управлениями обучаемого $X_{\text{об}}$ и вычисляется расхождение ΔX .

На основе этого анализа в блоке «Синтез обучающей информации» с использованием системы правил, хранящихся в базе знаний или комментариев эксперта, формируется учебная информация, которая доводится до обучаемого. В случае если имеются ошибки, обучаемому выдаются рекомендации по их устранению, а если задание выполнено правильно, то обучаемому передается соответствующее сообщение и выдается новое задание согласно заложенной программе обучения хранящейся в базе данных.

Отдельно нужно рассмотреть роль эксперта (наставника) в этой схеме (рис. 2). Эксперт получает ту же информацию, что и обучаемый, а

также результаты его учебной деятельности и оптимальные (наилучшие) управляющие воздействия от оптимального регулятора. Эксперт, анализируя работу обучаемого, формирует учебный комментарий, управляя и направляя процесс обучения. В таком режиме система работает как обычный тренажер с тренером-учителем. На этом этапе обучения базы знаний подобные учебные комментарии формализуются в блоке «Обучение (БЗ)» и используются при работе системы в автоматическом режиме.

Основной трудностью при разработке АОЭС является процесс сбора и формализации знаний эксперта (наставника-учителя) для последующего их хранения в базе знаний и использования в процессе автоматического научения. На этапе сбора и регистрации знаний возникают сложности при разработке системы (процедуры) выявления знаний эксперта и их фиксации на носителях информации.

Для выявления знаний можно использовать несколько приемов. Например, путем наблюдения за наставником во время его обычной работы с обучающимися на тренажере. При этом проводится запись учебных ситуаций, возникающих в процессе действий обучаемого и реакции тренера на них.

Выявить знания эксперта можно с помощью специально подготовленного анкетирования, в котором фиксируются ответы тренера и его ре-

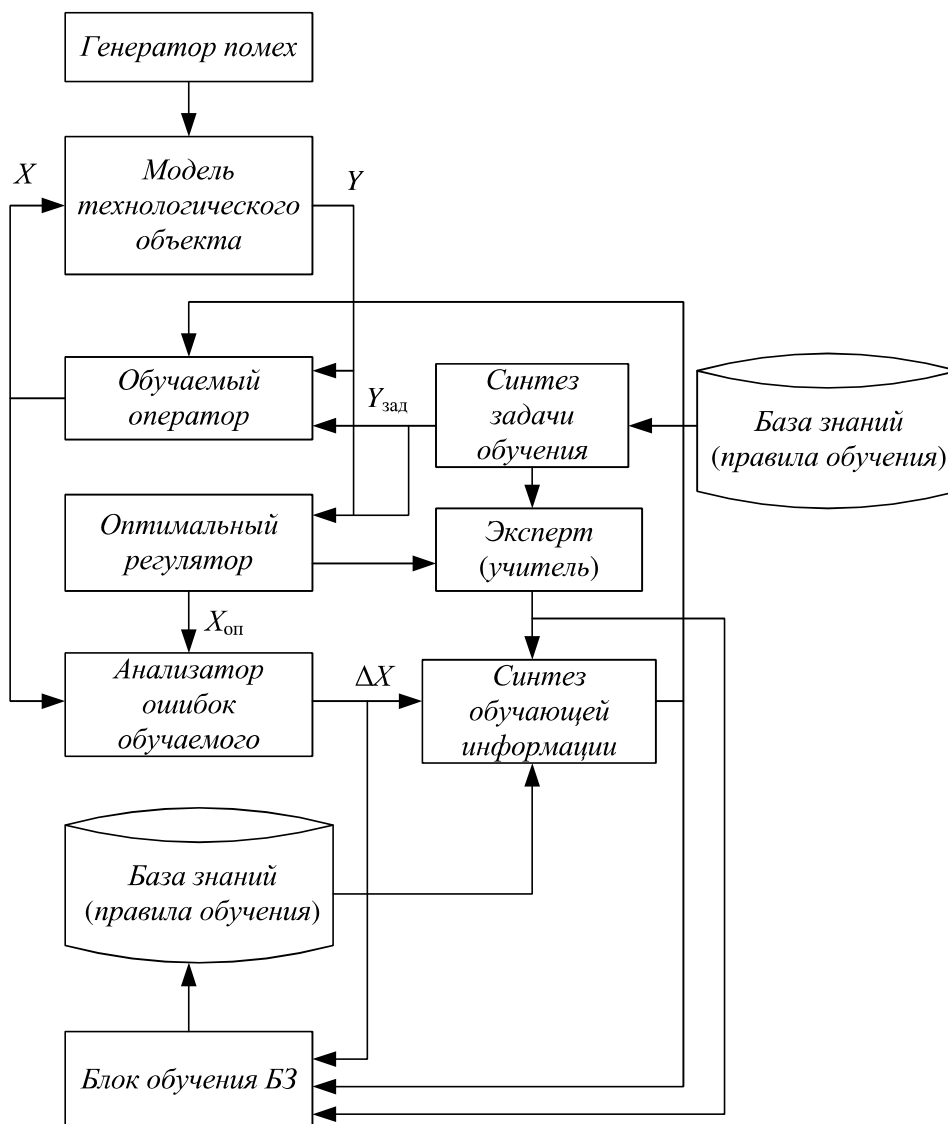


Рис. 2. Схема АОС на базе экспертной системы:

X и $X_{оп}$ – векторы входных управляющих параметров, сформированные обучаемым и оптимизатором;
 ΔX – ошибка обучаемого при выборе управлений; $Y_{зад}$ и Y – заданные фактические значения выходного параметра

Fig.2. AOS scheme based on an expert system:

X и $X_{оп}$ – are vectors of input control parameters formed by the trainee and the optimizer; ΔX – is the error of the trainee when choosing controls; $Y_{зад}$ и Y – are the specified actual values of the output parameter

акции на заранее подготовленные вопросы на ту или иную учебную ситуацию.

Наличие тренажера позволяет получить знания эксперта-учителя путем проведения натурного эксперимента, когда на тренажере по заранее подготовленному плану формируется учебная ситуация и записывается реакция эксперта на нее. Этот способ в какой-то степени объединяет первые два.

Независимо от способа получения знаний всегда встает вопрос о формальной их записи, пригодной для хранения, переработки и выдачи пользователю на понятном ему языке. Обучение профессиональным навыкам на тренажере несколько упрощает процесс управления обучением, так как первой и главной целью обучения является попадание в заданные значения не-

скольких выходных параметров при одновременном выполнении ограничений по входным параметрам, оговоренным технологической инструкцией.

Объем и вид ошибок обучаемого имеют конечное количество и могут быть однозначно логически описаны. В случае шихтовки электроплавки выходными параметрами являются концентрация углерода в расплаве (C), температура металла по расплавлению (T) и основность шлака (B). Каждый из этих параметров в зависимости от стали заданной марки должен соответствовать определенному значению с некоторым допустимым интервалом Δ , попадание в который также считается выполнением задания. Поэтому ошибками обучения считается

Примеры синтеза фреймов знаний Examples of knowledge frame synthesis

Если (логическое высказывание)	То (учебный комментарий)
$C = +1; T = 0; B = 0$	По температуре и основности шлака Вы попали в заданные пределы, но превысили концентрацию углерода в расплаве. Для исправления ошибки нужно уменьшить концентрацию углерода в шихте. Это можно сделать путем снижения расхода кокса или чугуна
$C = -1; T = 0; B = -1$	По температуре Вы попали в заданные пределы, но по основности шлака и концентрации углерода – ниже нижнего предела. Для исправления ошибки нужно увеличить расход кокса и извести
$C = 0; T = +1; B = 0$	По углероду и основности шлака – попадание в задание, а по температуре – перегрев. Для исправления ошибки нужно увеличить массу металлической части шихты

непопадание в допустимый диапазон по каждому из выходных параметров.

Введем логические переменные. Если параметр превышает верхнюю границу диапазона, то обозначим его состояние как +1, если меньше нижней границы, то –1, а в случае попадания в задание – 0.

Общее количество вариантов ошибок управления соответствует всевозможным перестановкам трех переменных на трех уровнях и равно $n = 3^3 = 27$. Каждый из двадцати семи случаев можно записать логическим высказыванием типа $C = \alpha; T = \beta; B = \gamma$, где $\alpha, \beta, \gamma = (\pm 1; 0)$ и каждому из этих случаев соответствует свой учебный комментарий, ранее полученный при обследовании реакций экспертов.

Известно, что фрейм (англ. frame – «каркас» или «рамка») – способ представления знаний в искусственном интеллекте, представляющий собой схему действий в реальной ситуации [20]. Таким образом, пара, логическое высказывание (соответствующий комментарий) является фреймом знаний. Набор из 27 фрейм составляет базу знаний в описываемой системе. В таблице приведен фрагмент из нескольких фреймов базы знаний.

Как видно из приведенных примеров в состав комментариев не входят подсказки о корректирующих воздействиях. В этом случае обучаемому методом проб и ошибок приходится самостоятельно искать эти значения. Однако возможен вариант количественных подсказок. Численные значения корректирующих воздействий можно рассчитать по математической модели технологического процесса и включить в состав комментария. Включать или не включать количественные подсказки в состав комментария определяет программа обучения, которая построена по принципу «От простого – к сложному».

Выводы

В ходе работы обоснована актуальность разработки автоматической системы обучения, в основном предназначенной для дистанционного способа усвоения знаний, получения умений и

навыков. Рассмотрены различные аспекты решения проблемы дистанционного обучения, в том числе с использованием экспертных систем.

Предложена структура автоматической экспертной обучающей системы, описаны функции ее основных узлов и блоков.

На примере АОС «Сталевар ДСП» приведен вариант формализованного представления знаний в виде обучающих фреймов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курейчик В.В., Сороколетов П.В., Щеглов С.Н. Анализ современного состояния автоматизированных систем приобретения и представления знаний // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. 2008. С. 120–124.
2. Подласый И.П. Педагогика: 100 вопросов – 100 ответов. Москва: ВЛАДОС-пресс, 2004. 365 с.
3. Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения. Москва: Институт проблем управления РАН, 1998. 77 с.
4. Fifty Modern Thinkers on Education: From Piaget to the Present / Liora Bresler, David Cooper, Joy Palmer ed. 2001. 320 p.
5. Калашников С.Н., Буинцев В.Н., Мартусевич Е.А. и др. Особенности применения информационных экспертных систем в металлургии на основе интеллектуальной обработки данных и знаний // Инженерный вестник Дона. 2020. № 1. С. 1–10.
6. Бородин Н.А., Подгорская С.В., Анисимова О.С. Информационные технологии в образовании. Донской ГАУ. Персиановский: Донской ГАУ, 2021. 168 с.
7. Edward P.K. A Study of the Uses of Expert Systems in the Training. Old Dominion University. 1990. 30 p.
8. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. Москва: Радио и связь, 2016. 264 с.

9. Персианов В.В., Шайдено Н.А. Использование вычислительной техники в учебном процессе. Москва: Гостехиздат, 2017. 112 с.
10. Информационные технологии в управлении технологическими процессами цветной металлургии / Б.М. Горенский, О.В. Кирякова, С.В. Ченцов, Л.А. Лапина. Красноярск: Изд-во «СФУ». 2012. 148 с.
11. Michie Donald. Knowledge-based Systems. University of IL at Urbana-Champaign, Report 80-1001. 1980. 129 p.
12. Stefik M. The Organization of Expert Systems: A Prescriptive Tutorial, XEROX, Palo Alto Research Centers, VLSI-82-1. 1982, 238 p.
13. Feigenbaum E.A. Knowledge Engineering: The Applied Side of Artificial Intelligence. Computer Science Dept., Memo HPP-80-21, Stanford University. 1980.
14. Feigenbaum E.A. Knowledge Engineering for the 1980's. Computer Science Dept., Stanford University. 1982.
15. Buchanan B.G. Research on Expert Systems. Stanford University Computer Science Department, 1981.
16. Quinlin J.R. Discovering Rules by Induction from Large Collections of Examples in the expert environment in the era of microelectronics Age. In: Edinburgh University Press. 1979. pp. 168–201.
17. Hayes-Roth F. AI the New Wave – A Technical Tutorial for R&D Management. Santa Monica, CA: Rand Corp. 1981.
18. Thomas D. McFarland. Reese Parker Expert systems in education and training, Authors Info & Claims. 1990.
19. Буинцев В.Н., Рыбенко И.А., Мартусевич Е.А., Белавенцева Д.Ю. Автоматизированная обучающая система для дистанционного и самостоятельного обучения операторов сложных технологических процессов. В кн.: Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах. Труды V Международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 14 апреля 2021 года. Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2021. С. 128–130.
20. Дьяконов В.П., Борисов А.В. Фреймовая модель представления знаний // Основы искусственного интеллекта. 2007. С. 31.
21. Podlasyi I.P. *Pedagogy: 100 questions – 100 answers*. Moscow: VLADOS-press, 2004. 365 p. (In Russ.).
22. Novikov D.A. *Patterns of iterative learning*. Moscow: Institut problem upravleniya RAN, 1998, 77 p. (In Russ.).
23. Liora Bresler, David Cooper, Joy Palmer ed. *Fifty Modern Thinkers on Education: From Piaget to the Present*. 2001. 320 p.
24. Kalashnikov S.N., Buintsev V.N., Martusevich E.A. etc. Features of the use of information expert systems in metallurgy based on intelligent data processing and knowledge. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2020, no. 1, pp. 1–10. (In Russ.).
25. Borodina N.A., Podgorskaya S.V., Anisimova O.S. *Information technologies in education*. Persianovskii: Donskoi GAU, 2021, 168 p. (In Russ.).
26. Edward P.K. *A Study of the Uses of Expert Systems in the Training*. Old Dominion University, 1990. 30 p.
27. Aliev R.A., Abdikeev N.M., Shakhnazarov M.M. *Production systems with artificial intelligence*. Moscow: Radio i svyaz', 2016, 264 p. (In Russ.).
28. Persianov V.V., Shaidenko N.A. *The use of computer technology in the educational process*. Moscow: Gostekhizdat, 2017, 112 p. (In Russ.).
29. Gorenskii B.M., Kiryakova O.V., Chentsov S.V., Lapina L.A. *Information technologies in the management of technological processes of non-ferrous metallurgy*. Krasnoyarsk: Izd-vo «SFU», 2012, 148 p. (In Russ.).
30. Michie Donald. Knowledge-based Systems. University of IL at Urbana-Champaign, Report 80-1001. 1980, 129 p.
31. Stefik M. The Organization of Expert Systems: A Prescriptive Tutorial, XEROX, Palo Alto Research Centers, VLSI-82-1. 1982, 238 p.
32. Feigenbaum E.A. Knowledge Engineering: The Applied Side of Artificial Intelligence. Computer Science Dept., Memo HPP-80-21, Stanford University, 1980.
33. Feigenbaum E.A. Knowledge Engineering for the 1980's. Computer Science Dept., Stanford University. 1982.
34. Buchanan B.G. Research on Expert Systems. Stanford University Computer Science Department, 1981.
35. Quinlin J.R. Discovering Rules by Induction from Large Collections of Examples in the expert environment in the era of microelectronics Age. In: Edinburgh University Press. 1979, pp. 168–201.

REFERENCES

1. Kureichik V.V., Sorokoletov P.V., Shcheglov S.N. Analysis of the current state of automated systems for acquiring and presenting knowledge. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie*

17. Hayes-Roth F. *AI the New Wave – A Technical Tutorial for R&D Management*. Santa Monica, CA: Rand Corp. 1981.
18. Thomas D. McFarland. *Reese Parker Expert systems in education and training*, Authors Info & Claims. 1990.
19. Buintsev V.N., Rybenko I.A., Martusevich E.A., Belaventseva D.Yu. Automated training system for remote and independent training of operators of complex technological processes. In: *Modeling and high-tech information technologies in technical and socio-economic systems. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference, Novokuznetsk, 14 aprelya 2021 goda*. Novokuznetsk: ITs SibGIU, 2021, pp. 128–130. (In Russ.).
20. D'yakonov V. P., Borisov A. V. Frame model of knowledge representation. *Osnovy iskusstvennogo intellekta*. 2007, pp. 31. (In Russ.).

Сведения об авторах

Владимир Николаевич Буинцев, к.т.н., доцент кафедры прикладных информационных технологий, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: buintcev@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4487-479X

Инна Анатольевна Рыбенко, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой прикладных информационных технологий и программирования, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: rybenko@mail.ru
ORCID: 0000-0003-1679-0839

Ефим Александрович Мартусевич, преподаватель кафедры прикладных информационных технологий, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: program.pro666@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2335-7788

Дарья Юрьевна Белавенцева, аспирант кафедры прикладных информационных технологий, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: dashau@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-7455-5664

Information about the authors

Vladimir N. Buintsev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Department of Applied Information Technologies, Siberian State Industrial University
E-mail: buintcev@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4487-479X

Inna A. Rybenko, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Applied Information Technologies and Programming, Siberian State Industrial University
E-mail: rybenko@mail.ru
ORCID: 0000-0003-1679-0839

Efim A. Martusevich, Lecturer of the Department of Applied Information Technologies, Siberian State Industrial University
E-mail: program.pro666@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2335-7788

Darya U. Belaventseva, Postgraduate Student of the Department of Applied Information Technologies, Siberian State Industrial University
E-mail: dashau@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-7455-5664

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Поступила в редакцию 27.09.2022
 После доработки 17.10.2022
 Принята к публикации 19.10.2022

Received 27.09.2022
 Revised 17.10.2022
 Accepted 19.10.2022