

А.Е. Селивонин

ОБЗОР ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ

Аннотация. Статья посвящена одной из важнейших тем в области информационных систем управления – экспертным системам. В ходе исследования выполнен обзор различных видов экспертных систем, изложена краткая история их развития. Рассмотрены положительные и отрицательные стороны таких систем, а также проблемы, которые находятся на этапе исследования и тестирования. Указаны основные элементы и особенности построения структуры экспертной системы.

Ключевые слова: экспертная система, база знаний, классификация экспертных систем, стратегия получения знаний, условный оператор, нечеткая логика, фреймворк, нейронная сеть, система поддержки принятия решений.

А.Е. Selivonin

REVIEW OF EXPERT SYSTEMS AND THEIR APPLICATION IN VARIOUS FIELDS

Abstract. The article is devoted to one of the most important topics in the field of management information systems – expert systems. The study presents an overview of various types of expert systems and a brief history of their development. The positive and negative aspects of such systems, as well as problems that are still at the stage of research and testing are considered. The main elements and features of building the structure of the expert system are indicated.

Keywords: expert system, knowledge base, classification of expert systems, knowledge acquisition strategy, conditional operator, fuzzy logic, framework, neural network, decision support system.

Введение

Экспертная система – это компьютерная система, которая имитирует способность человека-эксперта принимать решения и направлена на выполнение сложных задач путем имеющихся знаний.

В настоящее время вопрос эффективности экспертных систем (далее – ЭС) в целом не вызывает сомнений. Однако выбор и результат применения той или иной ЭС определяются ее характеристиками. Очевидно, у ЭС есть как преимущества, так и недостатки.

Целью настоящего исследования является обзор и анализ наиболее востребованных ЭС, описание их ключевых характеристик и определение тенденций их развития и применения.

Под *положительными* качествами ЭС можно понимать следующие.

Экономия времени при решении сложных интеллектуальных задач. Может включать в себя как передачу знаний от одного эксперта другому (в отличие от передачи информации внутри системы – копирования файлов данных как долгий и дорогой процесс), так и устойчивость и воспроизводимость результатов. Подразумевается, что система устойчива к помехам, в то время как человеку свойственно отвлекаться на внешние факторы, которые не связаны с решением поставленной задачи. Также у системы нет предубеждений и поспешных выводов. Каждый ее шаг – это четко проработанный алгоритм.

Селивонин Александр Евгеньевич

аспирант Института Информационных систем и инженерно-компьютерных технологий, Российский новый университет, Москва. Сфера научных интересов: системный анализ; управление и обработка информации.
Электронный адрес: serofiw@yandex.ru

Стоимость. Работа высококвалифицированного эксперта может обходиться весьма дорого. Разумеется, ЭС не может полностью заменить эксперта, и это лишь вспомогательный инструмент.

Постоянство. Система – это множество элементов, связанных друг с другом. Соответственно, компетенция и навыки ЭС не могут со временем ослабевать, в отличие от компетенций и навыков человека. Перерыв в деятельности человека-эксперта также может повлечь за собой серьезные последствия в его профессиональной деятельности.

Однако несмотря на ряд преимуществ, у экспертных систем есть и **негативные** стороны.

Обучение. Хотя база знаний ЭС может быть очень большой и долговечной, они не способны адаптироваться к изменению среды и требуют модификации, в отличие от человека-эксперта.

Разумность. Человек обладает не только широкими техническими знаниями, но и здравым смыслом. Пока неизвестно, как здравый смысл заложить в систему. Также человек обладает творческими качествами и может весьма неординарно реагировать на незнакомые ситуации; человек полагается на сенсорный опыт, в то время как система основывается лишь на вводных символах.

Гибкость. ЭС обладают недостаточной гибкостью. На этапе производства невозможно предусмотреть все сценарии, в которых будет участвовать система. Типичной считается ситуация, когда ЭС на определенной тестовой выборке показывает отличные результаты, а в реальных условиях при появлении непредвиденных изменений в предметной области оказывается в тупике.

В связи с этим проблема изучения ЭС остается актуальной.

История появления экспертных систем

Понятие «экспертная система» появилось в середине XX века. В 1959 году Герберт Саймон, Клиффорд Шоу и Аллен Ньюэл разработали программу General Problem Solver (GPS), которая представляла собой свод мыслительной деятельности человека для решения проблем. Исследователи обнаружили, что когда люди решают проблемы, мыслительная деятельность включает в себя три этапа:

- 1) разработка приблизительного плана;
- 2) решение задачи по плану на основании аксиомы, теоремы и самого плана;
- 3) постоянное анализирование метода и цели и пересматривание плана в имплементации процесса решения проблем.

В 1965 году по требованиям Национального управления по авиации и исследованию космического пространства Стэнфордский университет успешно разработал систему Dendral [1]. Ее создателем считается Эдвард Фейгенбаум. По предварительным

ной эмпирической закономерности система Dendral может автоматически генерировать молекулярные структуры, которые могут интерпретировать спектральные данные. Это первая успешная программа, которая использует знание самой проблемы, а не сложную технологию поиска. Dendral помогает исследователям искусственного интеллекта понять, что интеллектуальное поведение зависит не только от методов вмешательства в процесс, но и от знаний, используемых при этом вмешательстве. Исследователи начинают создавать программу, которая использует правила кода для представления знаний по решению входной задачи.

Позже под руководством Массачусетского технологического института была разработана система Массума – система компьютерной алгебры, которая является математическим помощником. Эта система использует эвристику для преобразования алгебраических выражений. После непрерывного расширения она может решать огромное количество математических задач, включая исчисление, матричные операции, решение уравнений и др.

Успешное развитие этих систем делает ЭС широко используемой в инженерной и исследовательской сферах. В процессе разработки ЭС исследователи выяснили, что представление, использование и получение знаний являются тремя основными проблемами систем искусственного интеллекта.

В конце 80-х годов XX века ЭС на основе фреймворка начала приобретать популярность. Благодаря своей более современной способности представлять описательную и поведенческую информацию об объекте ЭС на основе фреймворка способна решать более сложные проблемы, чем ЭС на основе правил. В то же время исследователи экспертных систем столкнулись с трудностями, выявив недостатки систем искусственного интеллекта, такие как узкие области применения, трудности получения знаний, механизм рассуждений и др.

С развитием нейронных сетей и статистического обучения машинное обучение стало новым направлением исследований в области искусственного интеллекта. Естественно, были надежды, что если технология машинного обучения будет применена к ЭС, то производительность рассуждений такой системы будет повышена. Нечеткая логика как еще одна новая область была также применена к ЭС.

На сегодняшний день уже произведено огромное количество различных ЭС; исследования таких систем вступили в новый период процветания. Спрос на ЭС возрос, и потребители стремятся использовать их для решения более сложных задач.

Структура экспертной системы

Типичная структура ЭС представлена на Рисунке 1.

Разберем структуру более детально.

Интерфейс пользователя. Предназначен:

- для ввода информации пользователем (менеджером, специалистом) в ЭС; используются следующие способы ввода: меню, команды, естественный язык, собственный интерфейс; команды включают в себя параметры, направляющие процесс обработки знаний;
- получения выходной информации; информация обычно выдается в форме значений, присваиваемых определенным переменным.

Технология ЭС позволяет получать в качестве выходной информации не только решение, но и необходимые объяснения двух видов:

- объяснения, выдаваемые по запросам пользователя;

– объяснения полученного решения всей проблемы по отдельным шагам.

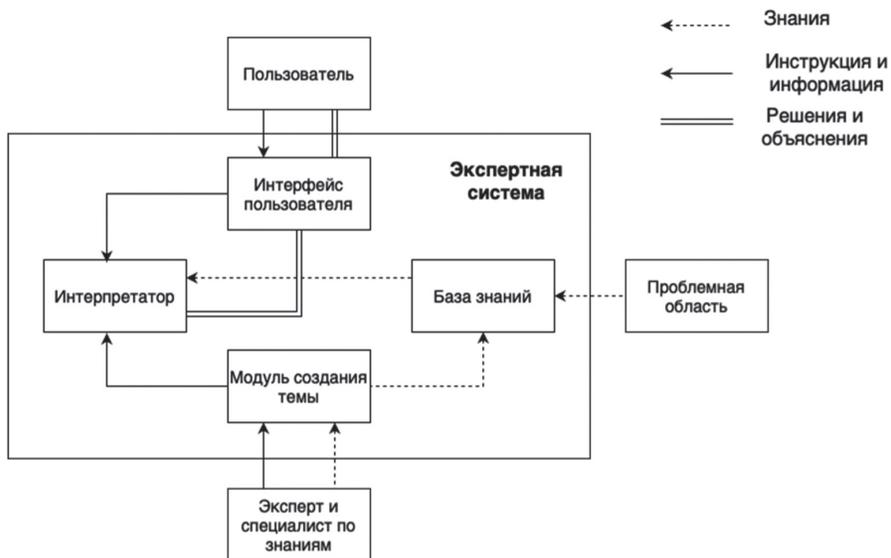


Рисунок 1. Типичная структура экспертной системы

Источник: StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/5350726/page/73/>
(дата обращения: 20.12.2022).

Интерпретатор. Это часть ЭС, производящая в определенном порядке обработку знаний, находящихся в базе. Технология работы интерпретатора сводится к последовательному рассмотрению совокупности правил (правило за правилом). При соблюдении условия, содержащегося в правиле, выполняется определенное действие, и пользователю предлагается локальный вариант решения.

База знаний. База знаний используется для хранения знаний экспертной системы и включает в себя:

- факты, описывающие проблемную область и их логическую взаимосвязь;
- правила, определяющие действие в каждой конкретной ситуации, состоящие из условий, которые могут выполняться или не выполняться, и действий, которые следует произвести, если условие выполняется.

В процессе создания база знаний должна приобретать новые знания, выражать и сохранять их таким образом, чтобы это входило в рамки возможности компьютера.

Модуль создания темы. Служит для формирования набора правил. Известны два подхода, которые могут быть положены в основу создания системы: использование алгоритмических языков программирования или оболочек экспертных систем, представляющих собой готовую программную среду, которая может быть приспособлена к решению конкретной проблемы путем создания соответствующей базы знаний.

Классификация экспертных систем

Экспертная система, основанная на правилах

Данный тип ЭС является простейшей формой искусственного интеллекта [2], использующий предписанные правила, основанные на знаниях, для решения проблем. Также это

самый ранний тип ЭС с наиболее распространенным способом создания. Системы, построенные на продукционных правилах, интегрируются в различные области исследований для помощи экспертам в решении всевозможных проблем с предварительными входными данными. По своей форме правила представляют собой условных операторов (if, then, do; else if, then, do) – «условие – результат». Если условие оператора выполнено, то может быть выполнен и результат правила. Эти системы следует применять к более мелким проблемам, так как чем крупнее система, тем больше правил потребуется для ее описания, следовательно, возрастает сложность моделирования всех возможных результатов [3].

За хранение условий и результатов продукционных правил отвечает база данных (далее – БД). Когда правило выполняется, соответствующее условие вызывается из базы данных, а результат этого правила помещается в БД в качестве условия для других правил.

ЭС на основе правил имеет много преимуществ. Использование оператора «условие – результат» для выражения правил естественно для человека. В то же время в ЭС на основе правил знания и рассуждения хранятся и обрабатываются отдельно в соответствии с повседневными привычками людей. Однако, несмотря на преимущества, некоторые недостатки препятствуют дальнейшему развитию ЭС. Например, скорость системы на основе правил не является лидирующей в сравнении с другими типами ЭС, поскольку при использовании правила необходимо сканировать весь набор в БД.

Экспертная система на основе нечеткой логики

Модель ЭС на основе нечеткой логики представляет собой набор продукционных правил, написанных на естественном языке качественных понятий специалистами по трудноформализуемому диагностическому процессу [4]. Нечеткие ЭС не только позволяют учитывать неопределенность, но и дают возможность моделировать рассуждения на основе опыта специалистов. Результатом нечетких рассуждений является нечеткое множество, но на практике требуется определенное выходное значение [5; 6].

Преимущество ЭС на основе нечеткой логики заключается в том, что она может выражать высокий уровень экспертных навыков и обладает достаточной надежностью, а также может выполнять эвристические и предварительные рассуждения. Однако такая ЭС имеет трудности с получением знаний, а ее рассуждения зависят от нечеткой базы знаний, способность к обучению не сильна и есть склонность к ошибкам [7].

Экспертная система на основе нейронной сети

Нейросетевая модель принципиально отличается от описанной выше логической системы. В нейронной сети знания больше не преобразуются в явные правила путем ручной обработки, а автоматически приобретаются алгоритмом обучения и создают свои собственные неявные правила [8]. По сравнению с ЭС нейронная сеть имеет более мощную функцию:

- более эффективна;
- обладает определенной степенью отказоустойчивости;
- можно изменить вес нейросетевого соединения.

Нейронная сеть получает знания автоматически через обучающие экземпляры. Эксперты приводят примеры и ожидания решения, алгоритм обучения нейронной сети постоянно модифицирует распределение веса сети, добиваясь стабильного результата после обучения. Поскольку вход и выход нейронной сети являются числовыми, необходимо закодировать экземпляр при использовании нейронной сети для получения знаний [9].

ЭС на основе нейронной сети присущи определенные недостатки:

Обзор экспертных систем и их применение в различных областях

- производительность системы ограничена набором обучающей выборки;
- в случае неправильной или слишком маленькой выборки способность нейронной сети к индукционным рассуждениям очень низкая;
- нейронная сеть не в состоянии объяснить собственный процесс рассуждений и важность хранения знаний, поскольку ее модель основана на поверхностной нейронной активности человека.

Экспертная система на основе фреймворка

Фрейм – это структура данных для представления некоторого концептуального объекта. По сути, фрейм представляет собой группу слотов и заполнителей, определяющих объект. Заполнителем слота могут быть процедуры типа if-needed, if-added, if-removal, if-changed. Фреймы, как правило, применяются для представления или универсальных, или специальных знаний.

Одним из узких мест при использовании ЭС в реальных задачах является их статичность, то есть жестко определенные базы знаний и правила вывода.

ЭС использует фреймворк в базе данных для обработки конкретных вопросов ввода и вывода новой информации через механизм логического вывода. Фреймворк представляет концепцию класса, а также может быть подклассом другого фреймворка [8].

Однако следует обратить внимание на особые обстоятельства: некоторые подклассы и их родительский класс могут иметь общие свойства – они наследуют свойства всех этих фреймов.

Экспертная система поддержки принятия решений

Подготовка, принятие и реализация стратегических решений требуют сбора и обработки больших объемов информации, проведения расчетов на основе экономико-математических моделей и использования опыта экспертов. Большую роль в практической реализации такой системы играют информационные системы поддержки принятия решений (далее – СППР).

В отличие от СППР экспертная система имеет базу знаний для обоснования решений. Однако существует система, находящаяся на стыке двух видов, которая взяла лучшее от обеих систем, – экспертная система поддержки принятия решений (далее – ЭСППР) [9]. Например, система данного типа позволяет решать проблемы сравнительных оценок при принятии решений [11].

ЭСППР сочетает преимущества экспертных систем и систем поддержки принятия решений и включает в себя базу данных, базу знаний и подсистему аналитической отчетности.

Особенности ЭСППР:

- содержит огромное количество поддерживаемых методов;
- имеет базу знаний в своем составе;
- является web-приложением, в связи с этим общедоступна для пользователей [5];
- дает возможность не только выбрать метод принятия решения для конкретной задачи, но и обеспечивает ее практическое решение на основе этого метода [12].

Проблемы современных экспертных систем

Одной из главных тенденций развития ЭС является их интегрирование со средами проектирования. Однако наибольшие трудности в разработке вызывает не процесс машинной реализации системы, а этап анализа знаний и проектирования базы знаний. В общем случае можно разделить все системы на два вида: системы, решающие задачи анализа, и системы, решающие задачи синтеза. Основное отличие заключается в том, что в задачах

анализа множество решений может быть перечислено и включено в систему, а в задачах синтеза множество решений потенциально не ограничено [13].

В настоящее время большинство разработчиков ЭС отмечают, что процесс извлечения знаний остается самым узким местом при построении промышленных ЭС; при этом им приходится самостоятельно разрабатывать методы извлечения, сталкиваясь со следующими трудностями:

- организационные неувязки;
- неудачный метод извлечения, не совпадающий со структурой знаний в данной области;
- неадекватная модель (язык) для представления знаний [14].

Процесс извлечения знаний – это длительная и трудоемкая процедура, в которой инженеру, вооруженному специальными знаниями по системному анализу, необходимо воссоздать модель предметной области, которой пользуются эксперты для принятия решения [15].

Можно выделить три основные стратегии проведения стадии получения знаний при разработке ЭС (Рисунок 2):

- 1) приобретение знаний – с использованием ЭВМ при наличии подходящего программного инструментария;
- 2) формирование знаний – с использованием программ обучения при наличии репрезентативной выборки примеров принятия решений в предметной области и соответствующих пакетов прикладных программ;
- 3) извлечение знаний – без использования вычислительной техники путем непосредственного контакта инженера по знаниям и источника знаний [16].

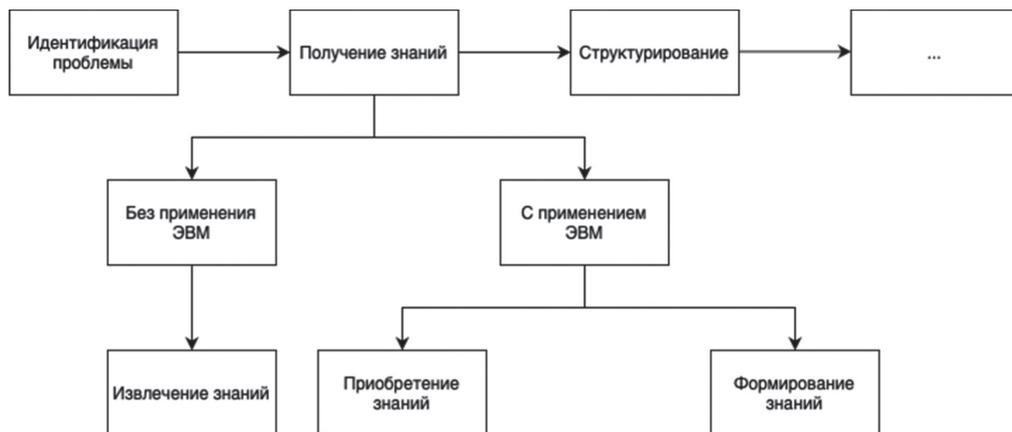


Рисунок 2. Стратегии получения знаний

Источник: Сибирский государственный университет путей сообщения. Информационные технологии. URL: http://dit.isuct.ru/IVT/BOOKS/IS/IS1/inform/glaves2/glava17/gl_17_1.htm (дата обращения: 20.12.2022).

Данный вопрос занимает важное место в разработке ЭС, поскольку такие системы могут использоваться в любых отраслях, таких как медицина [17]; АСУ ТП [18]; IT; сельскохозяйственная промышленность [19]; безопасность объектов критической инфраструктуры [20]; производственная безопасность; подбор персонала [21]; развлечения и др.

Заключение

В современном мире исследование и разработка ЭС имеет высокую актуальность.

После нескольких десятилетий усилий было разработано множество ЭС, основанных на разных принципах, – от ЭС, основанной на правилах, до системы, основанной на нейронной сети. Каждое поколение имеет свои преимущества и недостатки. Структуры ЭС, основанных на нейронной сети и нечеткой логике, и сегодня остаются полезными при решении относительно простых задач из-за их относительно легкого кодирования, но с учетом технических ограничений.

ЭС на основе нечеткой логики может отражать нечеткое явление в реальности, имитируя процесс неточного рассуждения человека для завершения своей работы, играя важную роль во многих областях. ЭС использует нейронную сеть для дальнейшего улучшения своих способностей и расширения возможностей получения знаний, а также крупномасштабную параллельную обработку для улучшения способности системы рассуждать.

Сегодня одна из актуальных проблем – научить нейросеть объяснять процесс собственных рассуждений. Дальнейшее развитие технологий нейронных сетей, несомненно, приведет к созданию более мощной ЭС на основе этой технологии. Этот подход будет особенно востребованным, например, в управлении операционной деятельностью [22].

Важнейшей задачей для более успешного внедрения ЭС в текущие реалии является проектирование базы знаний, а также улучшение анализа знаний.

Литература

1. Квасников А.А., Куксенко С.П. Обзор экспертных систем по электромагнитной совместимости технических средств // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2021. Т. 24, № 4. С. 7–18. DOI: 10.21293/1818-0442-2021-24-4-7-18
2. Симанков В.С., Теплоухов С.В. Аналитическое исследование методов и алгоритмов искусственного интеллекта // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2020. № 3 (266). С. 16–25. EDN OEJMTQ.
3. Семченко П.Н. Основанные на правилах экспертные системы // Ученые заметки ТОГУ. 2014. Т. 5, № 4. С. 1249–1266. EDN TCFAQR.
4. Истомин Д.А., Столбов В.Ю., Платон Д.Н. Экспертная система оценки технического состояния узлов электроцентробежных насосов на основе продукционного представления знаний и нечеткой логики // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2020. Т. 20, № 1. С. 133–143. DOI: 10.14529/ctcr200113
5. Еремеев Е.А. Распознавание образов в экспертных системах принятия решений // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19, № 4. С. 704–713. DOI: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-704-713
6. Нитежук М.С., Аршинский Л.В. Неклассические логики в задаче верификации продукционных баз знаний // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 2 (18). С. 36–51. DOI: 10.38028/ESI.2020.18.2.003
7. Полковникова Н.А., Курейчик В.М. Разработка модели экспертной системы на основе нечёткой логики // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2014. № 1 (150). С. 83–92. EDN RTZMXD.

8. Шумков Е.А. Фреймовые экспертные системы с использованием нейронных сетей // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 154 (10). С. 226–232. DOI: 10.21515/1990-4665-154-021
9. Ручкин В.Н., Фулин В.А., Пикулин Д.Р. Анализ моделей представления экспертной системы выбора структуры нейропроцессорной системы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 2. С. 206–215. EDN TJMWJN.
10. Кравченко Т.К. Развитие экспертной системы поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2013. № 4. С. 72–80.
11. Vecherskaya S.E. Selection of criteria for a decision support system for an art university // Informatics and Education. 2021. No. 3 (322). Pp. 56–62. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-3-56-62
12. Кравченко Т.К. Экспертная система поддержки принятия решений // Открытое образование. 2010. № 6. С. 147–156. EDN NCGUNP.
13. Муковозов А.М., Якушин А.Ю. Разработка экспертной системы по анализу систем домашней автоматизации // Инновационная наука. 2018. № 4. С. 47–52. EDN YWNHLS.
14. Дронь Е.А., Павлович Т.В., Степанов И.А. Разработка экспертной информационной системы на предприятии // Вестник науки. 2018. № 4. С. 10–12. URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/66> (дата обращения: 20.12.2022).
15. Милько Д.С., Данеев А.В., Горбылев А.Л. База знаний экспертной системы оценки угроз безопасности информации // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2022. Т. 25, № 1. С. 61–69. DOI: 10.21293/1818-0442-2021-25-1-61-69
16. Фисун В.В. Экспертная система поддержки принятия решений по управлению информационной безопасностью объектов критической информационной инфраструктуры // Globus: Технические науки. 2022. № 1 (42). С. 17–21. EDN IZALNY.
17. Вишневская Ю.А. Методы и технологии современных экспертных и рекомендательных систем в сфере телемедицины // Наука без границ. 2020. № 10 (50). С. 17–26. EDN BEAHLK.
18. Левицкий Р.В. Анализ подходов к построению Экспертных информационных систем для поддержки оперативного персонала атомных электростанций // Экономика и качество систем связи. 2021. № 3. С. 86–100. URL: <https://nirit.org/wp-content/uploads/2021/11/86-100.pdf?ysclid=lfm87umw5949072714> (дата обращения: 20.12.2022).
19. Плаксин И.Е., Трифанов А.В. Анализ систем интеллектуального управления в сельском хозяйстве // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 4 (109). С. 82–94. DOI: 10.24412/2713-2641-2021-4109-82-94
20. Бабиченко А.В., Шевадронов А.С., Воробьев А.А., Елесин И.А., Тектов М.В., Кожин В.Р. Прототипирование бортовой экспертной системы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. Вып. 1. С. 39–44. EDN BRFGBO.
21. Цебренько К.Н. Экспертная система контроля активности сотрудников // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. Т. 7-2 (70). С. 215–218. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-7-2-215-218
22. Вечерская С.Е. Управление сложностью бизнеса на операционном уровне // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2016. Вып. 3. С. 45–50. EDN YHCNJT.

References

1. Kvasnikov A.A., Kuksenko S.P. (2021) Obzor ekspertnykh sistem po elektromagnitnoi sovместимости tekhnicheskikh sredstv [Review of expert systems on electromagnetic reflective technology].

- Proceedings of TUSUR University*. Vol. 24. No. 4. Pp. 7–18. DOI: 10.21293/1818-0442-2021-24-4-7-18 (In Russian).
2. Simankov V.S., Teploukhov S.V. (2020) *Analiticheskoe issledovanie metodov i algoritmov iskusstvennogo intellekta* [Analytical study of methods and algorithms of artificial intelligence]. *The Bulletin of Adyghe State University*. No. 3 (266). Pp. 16–25. (In Russian).
 3. Semchenko P.N. (2014) *Osnovannye na pravilakh ekspertnye sistemy* [Rule-based expert systems]. *Scientist notes PNU*. Vol. 5. No. 4. Pp. 1249–1266 (In Russian).
 4. Istomin D.A., Stolbov V.Yu., Platon D.N. (2020) *Ekspertnaya sistema otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya auzlov elektrosentrobezhnykh nasosov na osnove produktsionnogo predstavleniya znaniy i nechetkoi logiki* [Expert system for assessing the technical condition of electric centrifugal pump units based on production knowledge representation and fuzzy logic]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Series "Computer Technologies, Automatic Control, Radioelectronics"*. Vol. 20. No. 1. Pp. 133–143. DOI: 10.14529/ctcr200113 (In Russian).
 5. Ereemeev E.A. (2019) *Raspoznavanie obrazov v ekspertnykh sistemakh prinyatiya reshenii* [Pattern recognition in expert decision-making systems]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. Vol. 19. No. 4. Pp. 704–711. DOI: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-704-713 (In Russian).
 6. Nitezuk M.S., Arshinsky L.V. (2020) *Neklassicheskie logiki v zadache verifikatsii produktsionnykh baz znaniy* [Non-classical logics in the problem of verification of production knowledge bases]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii*. No. 2 (18). Pp. 36–51 DOI: 10.38028/ESI.2020.18.2.003 (In Russian).
 7. Polkovnikova N.A., Kureichik V.M. (2014) *Razrabotka modeli ekspertnoy sistemy na osnove nechyotkoj logiki* [Development of an expert system model based on fuzzy logic]. *Izvestiya Sfedu. Engineering Sciences*. No. 1 (150). Pp. 1–10 (In Russian).
 8. Shumkov E.A. (2019) *Freimovye ekspertnye sistemy s ispol'zovaniem neironnykh setei* [Frame expert systems using neural networks]. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. No. 154 (10). Pp. 226–232. DOI: 10.21515/1990-4665-154-021 (In Russian).
 9. Ruchkin V.N., Fulin V.A., Pikulin D.R. (2018) *Analiz modelei predstavleniya ekspertnoi sistemy vybora struktury neiroprotsessornoi sistemy* [Analysis of representation models of an expert system for choosing the structure of a neuroprocessor system]. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. No. 2. Pp. 206–215. (In Russian).
 10. Kravchenko T.K. (2013) *Razvitie ekspertnoi sistemy podderzhki prinyatiya reshenii* [Development of the Expert Decision Support System]. *Iskusstvennyi intellekt i prinyatie reshenii*. No. 4. Pp. 72–80 (In Russian).
 11. Vecherskaya S.E. (2021) *Selection of criteria for a decision support system for an art university*. *Informatics and Education*. No. 3 (322). Pp. 56–62. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-3-56-62
 12. Kravchenko T.K. (2010) *Ekspertnaya sistema podderzhki prinyatiya reshenii* [Expert decision support system]. *Open Education*. No. 6. Pp. 147–156 (In Russian).
 13. Mukovozov A.M., Yakushin A.Yu. (2018) *Razrabotka ekspertnoi sistemy po analizu sistem domashnei avtomatizatsii* [Development of an expert system for the analysis of home automation systems]. *Innovation Science*. No. 4. Pp. 47–52. (In Russian).
 14. Dron E.A., Pavlovich T.V., Stepanov I.A. (2018) *Razrabotka ekspertnoy informacionnoy sistemy na predpriyatii* [Development of an expert information system at the enterprise]. *Vestnik nauki*. No. 4. Pp. 10–12. URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/66> (accessed 20.12.2022). (In Russian).

15. Milko D.S., Daneev A.V., Gorbylev A.L. (2022) Baza znaniy ekspertnoi sistemy otsenki ugroz bezopasnosti informatsii [Knowledge base of an expert system for assessing threats to information security]. *Proceedings of TUSUR University*. Vol. 25. No. 1. Pp. 61–69. DOI: 10.21293/1818-0442-2021-25-1-61-69 (In Russian).
16. Fisun V.V. (2022) *Ekspertnaya sistema podderzhki prinyatiya reshenii po upravleniyu informatsionnoi bezopasnost'yu ob'ektov kriticheskoi informatsionnoi infrastruktury* [Expert decision support system for managing the disclosed security of objects of critical statistics]. *Globus: Technical Sciences*. No. 1 (42). Pp. 17–21. (In Russian).
17. Vishnevskaya Yu.A. (2020) *Metody i tekhnologii sovremennykh ekspertnykh i rekomendatel'nykh sistem v sfere telemeditsiny* [Methods and technologies of modern expert and recommender systems in the field of telemedicine]. *Nauka bez granits*. No. 10 (50). Pp. 17–26. (In Russian).
18. Levitsky R.V. (2021) Analiz podkhodov k postroeniyu Ekspertnykh informatsionnykh sistem dlya podderzhki operativnogo personala atomnykh elektrostantsii [Analysis of approaches to the construction of expert information systems to support the operational personnel of nuclear power plants]. *Ekonomika i kachestvo system svyazi*. No. 3. Pp. 86–100. URL: <https://nirit.org/wp-content/uploads/2021/11/86-100.pdf?ysclid=lfm87umw5949072714> (accessed 20.12.2022). (In Russian).
19. Plaksin I.E., Trifanov A.V. (2021) Analiz sistem intellektual'nogo upravleniya v sel'skom hozyaistve [Application of intelligent control systems in agriculture]. *AgroEkoInzheneriya*. No. 4 (109). Pp. 82–94. DOI: 10.24412/2713-2641-2021-4109-82-94 (In Russian).
20. Babichenko A.V., Shevadrinov A.S., Vorob'yov A.A., Elesin I.A., Tektov M.V., Kozhin V.R. (2020) *Prototipirovanie bortovoi ekspertnoi sistemy* [Prototyping of an onboard expert system]. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. No. 1. Pp. 39–44 (In Russian).
21. Tsebrenko K.N. (2022) *Ekspertnaya sistema kontrolya aktivnosti sotrudnikov* [Expert system for monitoring the activity of employees]. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. Vol. 7-2 (70). Pp. 215–218. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-7-2-215-218 (In Russian).
22. Vecherskaya S.E. (2016) *Upravlenie slozhnost'ju biznesa na operacionnom urovne* [Complexity Management at the operational level]. *Bulletin of the Russian New University. Complex systems: Models, Analysis, Management*. No. 3. Pp. 45–50 (In Russian).