

ЭКСПЕРТНЫЕ И ГИБРИДНЫЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ



С.А. Мигалевич

*Магистр технических наук, начальник центра
информатизации и инновационных разработок
migalevich@bsuir.by*

С.А. Мигалевич

Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.

Аннотация: В статье рассматриваются экспертные и гибридные модели принятия решений, применяемые в интеллектуальных системах контроля и оценки знаний. Анализируются архитектуры экспертных систем, включающие базу знаний, механизм логического вывода и интерфейс пользователя. Описываются методы представления знаний: продукционные правила, семантические сети, фреймы и нечёткая логика. Особое внимание уделено гибридным интеллектуальным системам, объединяющим экспертные правила с нейросетевыми и байесовскими подходами для повышения точности диагностики знаний студентов и адаптации учебного контента.

Ключевые слова: экспертные системы, гибридные интеллектуальные модели, база знаний, логический вывод, нечёткая логика, контроль знаний, адаптивное тестирование, нейро-символьные системы.

Введение. В условиях цифровизации образования актуальность приобретают интеллектуальные системы контроля и оценки знаний, способные автоматизировать процесс тестирования, диагностировать пробелы в знаниях студентов и рекомендовать персонализированные учебные траектории [1]. Классические подходы, основанные на жёстко запрограммированных алгоритмах, часто не учитывают неопределённость и вариативность ответов студентов, что снижает точность оценки и адаптивность системы [2].

Экспертные системы (ЭС) представляют собой компьютерные программы, имитирующие рассуждения эксперта в узкой предметной области [3]. Они оперируют базой знаний, содержащей правила и факты, и используют механизм логического вывода для принятия решений. В области образования экспертные системы применяются для диагностики уровня знаний, интерпретации результатов тестирования и формирования рекомендаций по устранению выявленных пробелов [4][5].

Однако чисто символьные экспертные системы имеют ограничения: сложность формализации экспертного знания, негибкость в условиях неполной информации и высокая трудоёмкость разработки [6]. Для преодоления этих ограничений разрабатываются гибридные интеллектуальные системы, сочетающие экспертные правила с методами машинного обучения – нейронными сетями, байесовскими сетями доверия, нечёткой логикой и генетическими алгоритмами [7][8].

Целью данной работы является анализ архитектур экспертных и гибридных моделей принятия решений, применяемых в интеллектуальных системах контроля и оценки знаний, а также обзор их преимуществ, недостатков и перспектив интеграции.

Экспертные системы: структура и методы представления знаний. Экспертная система – это компьютерная программа, моделирующая действия эксперта при решении задач в определённой предметной области [9]. Типичная архитектура экспертной системы включает следующие компоненты [3][10]:

- База знаний (БЗ) – хранилище фактов и правил, описывающих предметную область;
- Механизм логического вывода (решатель) – модуль, выполняющий рассуждения на основе правил и фактов для получения заключений;
- База данных (рабочая память) – временное хранилище фактов о текущей задаче;
- Интерфейс пользователя – обеспечивает взаимодействие между пользователем и системой;
- Модуль объяснения – предоставляет пользователю обоснование полученных выводов;
- Модуль приобретения знаний – инструмент для пополнения базы знаний экспертом или инженером по знаниям.

Для представления знаний в экспертных системах применяются различные модели [6][11]:

Продукционная модель основана на правилах вида «ЕСЛИ <условие> ТО <действие>». Продукционные правила обладают модульностью, естественностью представления и гибкостью в модификации базы знаний [12]. Пример правила в образовательной ЭС: «ЕСЛИ студент неправильно ответил на 3 и более вопросов по теме «Цикль» И правильно ответил на менее 50% вопросов по теме «Массивы», ТО рекомендовать изучить материал «Основы работы с массивами и циклами».

Семантические сети представляют знания в виде графа, вершины которого соответствуют объектам или понятиям, а дуги – отношениям между ними [13]. Семантические сети эффективны для представления иерархических и ассоциативных связей между концепциями учебной программы.

Фреймовая модель описывает объекты предметной области как структуры данных (фреймы), состоящие из слотов, заполняемых конкретными значениями [14]. Фреймы удобны для представления типовых ситуаций и наследования свойств.

Нечёткая логика (fuzzy logic) позволяет учитывать неопределённость и качественные оценки экспертов [15]. Вместо чёткого «истина» или «ложь» используются степени принадлежности элементов к нечётким множествам (например, «слабые знания», «средние знания», «хорошие знания»). Нечёткая логика широко применяется для оценки качественных аспектов знаний студентов, где границы между уровнями компетентности размыты [16][17].

Применение экспертных систем для контроля и оценки знаний. Экспертные системы в образовании решают задачи диагностики уровня знаний, интерпретации результатов тестирования и автоматической генерации рекомендаций по коррекции учебного процесса [4][18]. Громашева и Щербинина [4] описывают экспертную систему оценки знаний студентов по дисциплине «Системы реального времени», основанную на продукционных правилах. Система анализирует ответы студентов на тестовые вопросы, сопоставляет их с эталонными знаниями и выносит заключение о сформированности компетенций. Борисенко [5] разработал экспертную систему автоматизированного управления обучением в среде Stratum, включающую диагностический и планирующий модули. Диагностический модуль фиксирует ошибки учащегося и выявляет пробелы, а планирующий модуль предлагает индивидуализированную последовательность учебных материалов для их устранения.

Использование нечёткой логики в экспертных системах образования позволяет обрабатывать качественные оценки преподавателей и студентов [15][16][17]. Khan et al. [17] предложили экспертную систему с нечёткой логикой для оценки эффективности преподавателей, в которой лингвистические термины («очень хорошо», «хорошо», «удовлетворительно») преобразуются в числовые значения с помощью функций принадлежности. Аналогичный подход применим для оценки уровня знаний студентов: вместо бинарной оценки «сдал»/«не сдал» система может выставлять градуированную оценку на основе степени уверенности в ответах.

Гибридные интеллектуальные модели. Чисто символьные экспертные системы сталкиваются с проблемами при работе с большими объёмами данных, неполнотой информации и необходимостью обучения на исторических данных. Гибридные интеллектуальные системы объединяют сильные стороны символьных (экспертных) и субсимвольных (нейросетевых, статистических) подходов [7][8][20].

Михальков [8] выделяет два основных класса методов построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений: эмпирические (основанные на данных: нейронные сети, генетические алгоритмы) и аналитические (основанные на знаниях: экспертные системы, нечёткие модели). Гибридная модель объединяет преимущества обоих классов: способность к обучению и адаптации от нейросетей, интерпретируемость и прозрачность от экспертных правил. Петров и соавт. [10] описывают моделирование систем оценивания знаний в рамках гибридной интеллектуальной обучающей среды (ГИОС). ГИОС сочетает нейросетевые модели для обучения на данных с экспертными правилами для интерпретации результатов. Авторы разработали структурные схемы для оценки знаний по математике и агентную модель педагогического процесса, в которой нейросети обучаются на последовательностях ответов учащихся, а правила экспертной системы формируют рекомендации по коррекции материала. Molenaar [21] вводит концепцию гибридного интеллекта (hybrid intelligence) в образовании как совместную работу человека (преподавателя) и ИИ-системы. Гибридный подход предполагает деление уровней автоматизации: от полностью ручной оценки до полностью автоматизированной, с промежуточными уровнями, где решение принимается совместно. Это повышает доверие педагогов к системе и улучшает интерпретируемость выводов. Гибридные модели

представления знаний сочетают продукционные, семантические и фреймовые модели [11][22]. Например, фреймо-продукционная модель использует фреймы для представления сложных объектов (студент, тема, задача), а продукционные правила – для описания причинно-следственных связей между ними. Семантико-фреймовая модель задаёт вершины в виде фреймов, а связи между ними – семантической сетью. Байесовские сети доверия (Bayesian Belief Networks) также используются в гибридных системах для моделирования вероятностных зависимостей между знаниями студента и его ответами [23]. Комбинация байесовских сетей с экспертными правилами позволяет учитывать как статистические закономерности, так и экспертные предпочтения.

Преимущества и ограничения гибридных моделей. Гибридные модели принятия решений обладают рядом преимуществ по сравнению с чисто экспертными или чисто нейросетевыми подходами:

Повышенная точность предсказания. Комбинация статистических закономерностей, выявляемых нейросетями, и экспертных правил позволяет учитывать как исторические данные, так и специфику предметной области [10][27].

Интерпретируемость и объяснимость. Экспертные правила и символьные представления делают выводы системы прозрачными для преподавателей и студентов, что критически важно для образования [21][24].

Адаптивность. Гибридные системы способны обучаться на новых данных (нейросетевой компонент) и одновременно учитывать априорные знания экспертов (символьный компонент) [8].

Обработка неполноты и неопределённости. Использование нечёткой логики и байесовских сетей позволяет работать с качественными оценками и неполными данными [15][23].

Вместе с тем гибридные модели имеют ограничения:

Сложность разработки. Интеграция различных методов требует высокой квалификации разработчиков и тщательного согласования компонентов [6].

Трудоёмкость формализации знаний. Создание базы экспертных правил остаётся времяёмкой задачей, требующей участия экспертов предметной области [12].

Вычислительная сложность. Совместное применение нейронных сетей и символьных механизмов вывода может быть ресурсоёмким [20].

Проблема обобщения. Если экспертные правила слишком жёстко фиксированы, система может потерять способность адаптироваться к новым ситуациям [26].

Заключение. Экспертные системы и гибридные интеллектуальные модели представляют собой мощный инструмент для автоматизации контроля и оценки знаний в образовательных учреждениях. Классические экспертные системы, основанные на продукционных правилах, семантических сетях, фреймах и нечёткой логике, обеспечивают прозрачность и интерпретируемость выводов, но ограничены необходимостью ручной формализации знаний и низкой адаптивностью. Гибридные модели, объединяющие экспертные правила с нейросетевыми, байесовскими и эволюционными методами, позволяют преодолеть эти ограничения. Они сочетают способность к обучению и адаптации от машинного обучения с интерпретируемостью и использованием априорного знания от экспертных систем. Нейро-символьные подходы, такие как модели трассировки знаний с элементами символьного вывода, демонстрируют значительное улучшение точности и прозрачности диагностики знаний студентов. Перспективы развития гибридных интеллектуальных систем контроля знаний включают разработку методов автоматизированного извлечения экспертных правил из данных, создание интерактивных интерфейсов для объяснения выводов системы преподавателям и студентам, а также интеграцию с системами автоматической корректировки учебного контента на основе выявленных пробелов в знаниях. Важным направлением является обеспечение этической корректности и защиты персональных данных при использовании ИИ в образовании.

Список литературы

- [1] Шлыкova, Е.Н. Гибридные модели оценки качества дошкольного образования: традиционные и цифровые подходы / Е.Н. Шлыкova // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. - 2025. - № 7(200).
- [2] Михайлов, Ю.И. Оценка качества гибридного обучения в высшей школе / Ю.И. Михайлов // 2023.
- [3] Экспертная система // Википедия. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Экспертная_система.
- [4] Громашева, О.С. Экспертная система оценки знаний студентов по дисциплине «Системы реального времени» / О.С. Громашева, И.А. Щербинина // Открытое образование. - 2015. - № 6.
- [5] Борисенко. Реализация экспертной системы автоматизированного управления обучением / Борисенко // Выпускная квалификационная работа.
- [6] Плашневая, Е.В. Экспертные системы на основе системы искусственного интеллекта / Е.В. Плашневая, Н.В. Нигей // АмурГМА.
- [7] Misnik.by. Экспертные системы. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://misnik.by/exp_sys/es.pdf.
- [8] Михальков, М.Д. Модели и методы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений / М.Д. Михальков // БГУИР. - 2025.
- [9] Паршин, И.И. Проектирование интеллектуальной системы отбора экспертов / И.И. Паршин и др. // БелГУ.
- [10] Петров, А.А. Моделирование систем оценивания знаний в рамках гибридной интеллектуальной обучающей среды / А.А. Петров, О.В. Дружинина, О.Н. Масина // Современные информационные технологии и ИТ-образование. - 2021. - Т. 17, № 1. - С. 179-189.
- [11] Гибридные модели представления знаний // Системы поддержки принятия решений. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://studme.org/244093/informatika/gibridnye_modeli_predstavleniya_znaniy.
- [12] Представления знаний в интеллектуальных системах // Хабр. - 2018. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/346236/>.
- [13] Экспертные системы / БрГУ. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://e.biblio.bru.by/bitstream/handle/1212121212/17903/Expertnye_sistemy.pdf.
- [14] Интеллектуальные экспертные системы // Studfile. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7446878/page:39/>.
- [15] Hwang, G.-J. Knowledge acquisition for fuzzy expert systems / G.-J. Hwang // International Journal of Intelligent Systems. - 1995. - Vol. 10, No. 6.
- [16] Alekseev, A. Using Fuzzy Logic in Knowledge Tests / A. Alekseev // CEUR Workshop Proceedings. - Vol. 1356.
- [17] Khan, A.R. Application of Expert System with Fuzzy Logic in Teachers Performance Evaluation / A.R. Khan, H.U. Amin, Z.U. Rehman // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. - 2011. - Vol. 2, No. 2.
- [18] Aruna, P. Fuzzy Logic Expert System for Analyzing Student Performance / P. Aruna // IEEE. - 2023.
- [19] Alekseev, A. Fuzzy logic in test-based knowledge control / A. Alekseev // CEUR. - 2014.
- [20] Hybrid Intelligent Decision-Making Systems // Fiveable. - 2024. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://fiveable.me/neural-networks-and-fuzzy-systems/unit-17/hybrid-intelligent-decision-making-systems/>.
- [21] Molenaar, I. Towards hybrid human-AI learning technologies / I. Molenaar // European Journal of Education. - 2022.
- [22] Ideal2025. Hybrid Intelligent Decision-Making: Integrating AI and MCDM. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ideal2025.ijaen.es/>.
- [23] Bredeweg, B. Requirements and challenges for hybrid intelligence: A case-study in education / B. Bredeweg, M. Kragten // Frontiers in Artificial Intelligence. - 2022. - Vol. 5.
- [24] Wang, X. Intelligent educational decision-making system driven by multimodal data fusion and knowledge graphs / X. Wang et al. // Nature Scientific Reports. - 2026.
- [25] Piech, C. Deep Knowledge Tracing / C. Piech et al. // Stanford University. - 2015.
- [26] Shen, S. A Survey of Knowledge Tracing: Models, Variants, and Applications / S. Shen, Q. Liu, E. Chen et al. // IEEE Transactions on Learning Technologies. - 2024. - Vol. 17. - PP. 1-20.
- [27] Zhao, W. Improving Knowledge Tracing via a Heterogeneous Information Network / W. Zhao et al. // Expert Systems with Applications. - 2023.
- [28] Song, Y. Improving exercise-level Knowledge Tracing via Knowledge Concept-based Memory Network / Y. Song et al. // Expert Systems with Applications. - 2025.
- [29] Zhou, X. Deep learning based knowledge tracing in intelligent tutoring systems / X. Zhou et al. // Scientific Reports. - 2025. - Vol. 15.

Авторский вклад

Мигалевич Сергей Александрович – постановка задачи исследования, проведение обзора экспертных и гибридных моделей принятия решений в интеллектуальных системах контроля и оценки знаний, анализ методов представления знаний и механизмов логического вывода, подготовка и оформление статьи.

**EXPERT AND HYBRID DECISION-MAKING MODELS
IN INTELLIGENT KNOWLEDGE ASSESSMENT AND CONTROL SYSTEMS**

S.A. Migalevich

*Master of Technical Sciences, Head of the Center for
Informatization and Innovative Developments*

Annotation: The article examines expert and hybrid decision-making models applied in intelligent knowledge assessment and control systems. The architectures of expert systems, including knowledge bases, inference engines, and user interfaces, are analyzed. Methods of knowledge representation are described: production rules, semantic networks, frames, and fuzzy logic. Particular attention is paid to hybrid intelligent systems that combine expert rules with neural network and Bayesian approaches to improve the accuracy of student knowledge diagnosis and adaptive content customization.

Keywords: expert systems, hybrid intelligent models, knowledge base, inference engine, fuzzy logic, knowledge assessment, adaptive testing, neuro-symbolic systems.