

Интеллектуальная автоматизированная обучающая система AESU и лежащие в её основе концепции, механизмы и методы

Углев Виктор Александрович^{1,2}, Смирнов Георгий Артёмович¹

¹Сибирский федеральный университет, Россия, Железногорск, vauglev@sfu-kras.ru

²Московский университет МВД России им. В.Я. Кикотя, Россия, Москва

Аннотация. Проблема системного и научно-обоснованного подхода к организации электронного обучения повышает свою актуальность в условиях массового применения больших языковых моделей. В статье рассматривается проблема концептуального методического обоснования работы интеллектуальных автоматизированных обучающих систем (ИАОС). Показана проблема описания и раскрытия в научных источниках внутренних механизмов их работы, позволяющих верифицировать и автоматически объяснять принимаемые ими решения. В качестве примера рассмотрена авторская экспериментальная обучающая система AESU. Для неё рассматриваются базовые концепции, механизмы и методические решения. В качестве основных концепций приведены теория функциональных систем П.К. Анохина (модель афферентного синтеза), прикладная семиотика Д.А. Поспелова и теория рефлексивного управления В.А. Лефевра. Показана роль когнитивной визуализации (картирования) при синтезе решений. Для этого объединяется логика продукционных экспертных систем, нечёткой логики и проверки гипотез по Шортлиффу – интеллектуальных механизмов решателя обучающей системы. Эмерджентный эффект, возникающий от использования приведённых концепций и механизмов, позволяет предложить авторский подход к реализации модульной концентрации данных и сквозного анализа учебной ситуации. Системообразующим элементом в синтезе решений ИАОС становятся структурная и функциональная нотация карт: метод когнитивных карт диагностики знаний и метод унифицированного графического воплощения активности. Показана возможность взаимного перехода параметрического и визуального отображения учебной ситуации между этими типами карт и их использование при выработке решений как решателем обучающей системы, так и учащимся в процессе работы в электронной обучающей среде. В заключении отмечены архитектурные особенности ИАОС AESU. Кроме типовых функций систем управления обучением, предложенная ИАОС реализует диалоговый механизм взаимодействия с учащимся в естественно-языковой форме без привлечения возможностей больших языковых моделей: гибкий механизм обратной связи позволяет поддерживать интерактивный диалог, опираясь на методически обоснованные выводы. Это позволяет повысить уровень доверия человека-учащегося к рекомендациям обучающей системы и способствует вовлечению в образовательный процесс на базе ИАОС.

Ключевые слова: электронное обучение, интеллектуальные автоматизированные обучающие системы, когнитивная визуализация, принятие решений, метод

Цитирование: Углев В.А. Интеллектуальная автоматизированная обучающая система AESU и лежащие в её основе концепции, механизмы и методы / В.А. Углев, Г.А. Смирнов // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2026. – № 3(43). – С. 42-55. – DOI:10.25729/ESI.2026.43.3.004.

Введение. Функциональные возможности *автоматизированных обучающих систем*, опирающихся на методы искусственного интеллекта, во многом определяются теми концепциями и механизмами, которые лежат в их основе. Большие языковые модели, принимающие решения по принципу «чёрного ящика», ещё недостаточно изучены и несут в себе ряд скрытых рисков: от методической необоснованности и до нежелательных когнитивных воздействий на учащихся [1]. Поэтому базовая технология, лежащая в основе обучающих систем, должна позволять аргументировано принимать решения по выработке педагогических воздействий и аргументировать их учащемуся, если такой запрос от него поступит. Выбор технологий, отражающих крайне противоположные подходы к организации процесса выработки решений, на практике не оправдывают себя. Так, фанатичное использование нейронных сетей (например, в [2]) не даёт эффекта объяснимости решений, а использование онтологий (например, в [3]) заставляет скрупулезно прорабатывать все варианты решений на уровне каждой учебной задачи. Очевидно, что проработка логики решений должна базироваться не только на частных

случаях, но и опираться на определенный блок методических знаний. Для этого эти знания необходимо как-то хранить, организовывать их обработку с опорой на специальные модели.

Интегрированные в состав интеллектуальных автоматизированных обучающих систем (ИАОС) модели определяют потенциальную гибкость в логике принимаемых решений. Далеко не все обучающие системы включают, помимо стандартных моделей ученика и электронного курса [4], модели учителя, тьютора [5] и учебной ситуации [6]. Поэтому от выбранных разработчиками механизмов и моделей будет зависеть как архитектура ИАОС, так и гибкость и результативность принятия решений интеллектуальным планировщиком. В некоторых программных решениях информация о механизмах и моделях явно описывается разработчиками в научной литературе [7,8]. По этой информации можно оценить возможности и конкурентные преимущества системы. К сожалению, не для каждой ИАОС можно легко найти четко изложенные данные о лежащих в их основе механизмах и реализованных методах. Занимаясь разработкой собственной ИАОС AESU, мы также раскрывали в своих публикациях различные аспекты её работы. Но сейчас становится очевидным, что без последовательного раскрытия этого вопроса специфика её функционирования может быть не ясна или понята неправильно. Поэтому нами было принято решение описать базовые концепции, механизмы и методические подходы к построению ИАОС AESU, определяющие её архитектуру.

ИАОС AESU была сформирована из ранее созданных программных модулей, изначально реализованных в виде самостоятельных настольных приложений, а затем в виде единой сетевой системы (браузерный вариант). К 2020 году она приобрела вид экспериментальной системы управления обучением (Learning Management System, LMS) с расширенными функциональными возможностями. В её основу легли теории П.К. Анохина о поведенческом акте, прикладная семиотика Д.А. Поспелова, теории В.А. Лефевра о рефлексивном управлении, А.А. Зенкина о когнитивной компьютерной графике. Основными механизмами стали теория продукционных экспертных систем Э. Поста, нечёткой логики Л. Заде, проверки экспертных мнений Шортлиффа и Бьюкенена, когнитивных карт и пиктографики. В связи с необходимостью детальной проработки логики взаимодействия с моделями, постоянно модифицировались базы знаний и механизмы обобщения. Для упрощения процесса обновления логики работы ИАОС и объединения всего многообразия подходов в единую систему, потребовалось предложить ряд оригинальных решений: модели этапной и модульной концентрации данных, а также сквозной подход к оценке учебной ситуации. Дадим краткую характеристику каждой из концепций и механизмов в рамках их использования в рамках ИАОС AESU, а также раскроем суть предложенных методов и отметим их место в архитектуре системы.

Концепции. Базовые концепции и теории ориентированы на организацию данных и знаний, позволяя обеспечить процесс объяснимого принятия решений. Само принятие решений опирается на модель M , которая для решателя ИАОС является чёрным ящиком и входит в состав модульной базы знаний. Для извлечения и концентрации исходных данных используется модель *афферентного синтеза* из теории функциональных систем П.К. Анохина [9]. Суть её заключается в том, что для принятия решений необходимо подготовить исходные данные, включающие описание учебной ситуации (обстановочная афферентация); цифровой образовательный след с прецедентами (имеющийся опыт); номенклатуру событий (пусковую афферентацию); а также работу с целями (акцептор результата). Такая «физиологическая» интерпретация механизма разумного поведения была предложена самим Анохиным в качестве основы для работы интеллектуальных систем [10] и нами лишь адаптирована к специфике ИАОС [11]. Такой массив исходных данных D формирует «поле» признакового пространства, которое должно в дальнейшем подвергаться обработке планировщиком.

Процедура сбора исходных данных не решает проблему её упорядочивания непосредственно для принятия решений. По этой причине декомпозиция данных, включенных в процесс принятия решения, дополнительно делится на шаблонное представление семантики, синтактики и прагматики, дополненного конкретизированными для текущей учебной ситуации данными (соответствует *квадрату Пospelова* [12] из прикладной семиотики [13]). Роль синтактики (структуры данных) в таком представлении играет модель дидактического материала, иерархии целей и нормативов (тех же компетенций учебного плана). Роль семантики выполняют логические связи между различными элементами (как с моделями, так и внутри структур данных), а также фрагменты баз знаний. Прагматикой в этом подходе стали модели реакций моделей учащегося, учителя и тьютора (соответствующие фрагменты базы знаний). Непосредственно оперативные данные, их динамика («выжимка» из цифрового образовательного следа) и параметры модели ученика формируют денотат [14]. В результате такого представления все данные после загрузки соотносятся с элементами семиотического представления (размечаются в поле признакового пространства) и могут быть подгружены при обработке события класса k при принятии решений.

Характерной чертой развитых систем искусственного интеллекта, среди прочего, является их способность к рефлексии собственных решений и оперированию расширенной моделью человека, с которым происходит взаимодействие [15]. Эту задачу в своей *теории рефлексивного управления* замечательно формализовал В.А. Лефевр [16]. Мы использовали элементы его подхода не только к обоснованию выделения различных сущностей (модели ученика, учителя, тьютора, методиста), но и различную интерпретацию ими учебной ситуации. Очевидно, что все эти модели имеют не только собственные цели, но и логику оценки важности, нужности, полезности и пр. как различных элементов дидактического материала, так и решений со стороны ИАОС [17]. Кроме того, предложенный подход позволил выделить ряд аспектов анализа (знаниевый, компетентностный, целевой), учёт которых углубляет возможности по анализу учебной ситуации. Так появляются признаки точки зрения на проблему i и аспекта анализа j .

Ещё одна концепция, которую вобрала в себя ИАОС AESU, стала когнитивная визуализация, относимая А.А. Зенкиным и Д.А. Поспеловым к разделу *когнитивной компьютерной графики* [18]. Применительно к обучающим системам Д.А. Поспелов писал следующее: «даже весьма робкие попытки в этом направлении, ... привлекающие сейчас пристальное внимание специалистов (особенно тех, кто занят созданием интеллектуальных обучающих систем), показывают перспективность подобных исследований» [19]. Именно эту идею в виде концепции функционально-структурного картирования *Map* мы взяли на вооружение как при концентрации данных в процессе принятия решений, так и при предъявлении её человеку-учащемуся. Принцип наглядности и понятности решений за счёт графической концентрации был взят из Data Mining (раздела Data Visualization [20]) и является востребованным в рамках современных ИАОС [21].

Использование системного подхода к объединению всех этих концепций в рамках одного инструмента (подсистемы принятия решений) позволило выйти на обобщённую последовательность обобщения данных и выработки решений (1).

$$M_k : D \rightarrow \{D^{ij}\} \rightarrow Map\{D^{ij}\} \rightarrow F \rightarrow r \quad (1)$$

где M – модель принятия решений для события типа k ; D – признаковое пространство; i – точка зрения на решение; j – аспект анализа учебной ситуации; *Map* – механизм картирования; F – процедуры принятия решений; а r – решение (выбранная альтернатива из множества решений R_k). Эта модель предполагает наличие частных механизмов.

Механизмы. Частные механизмы, которые обеспечивают функциональность ИАОС, делятся на штатные процедуры (выборки, статистические обобщения, процедуры расчёта оценок

отдельных показателей) и специфические. Первые используются на всех этапах обобщения данных, согласно настройкам модели принятия решений *M*. Они не опираются на методы искусственного интеллекта и подключаются не из базы знаний, а из репозитория алгоритмов обучающей системы.

Специфические механизмы ориентированы на то, чтобы планировщик мог проверять различные гипотезы, опираясь на многообразие методов искусственного интеллекта. Кратко опишем основные из них.

Механизм проверки гипотез на основе продукционной модели представления знаний Э. Поста реализован на базе конструктора FLM_Builder [22] и позволяет формировать внешние фрагменты базы знаний в формате flm (рис. 1, справа). Они размещаются в репозитории баз знаний и ассоциируются с конкретными событиями образовательной среды через модель *M*. Машина вывода (решатель) для просчёта flm-файлов реализована на языке Python, ядро которого интегрировано в серверную часть ИАОС AESU. Таким образом, в обучающую систему встроен механизм проверки гипотез с помощью *продукционных экспертных систем*, формализующих граф вывода знаний на базе коллекции эвристик.

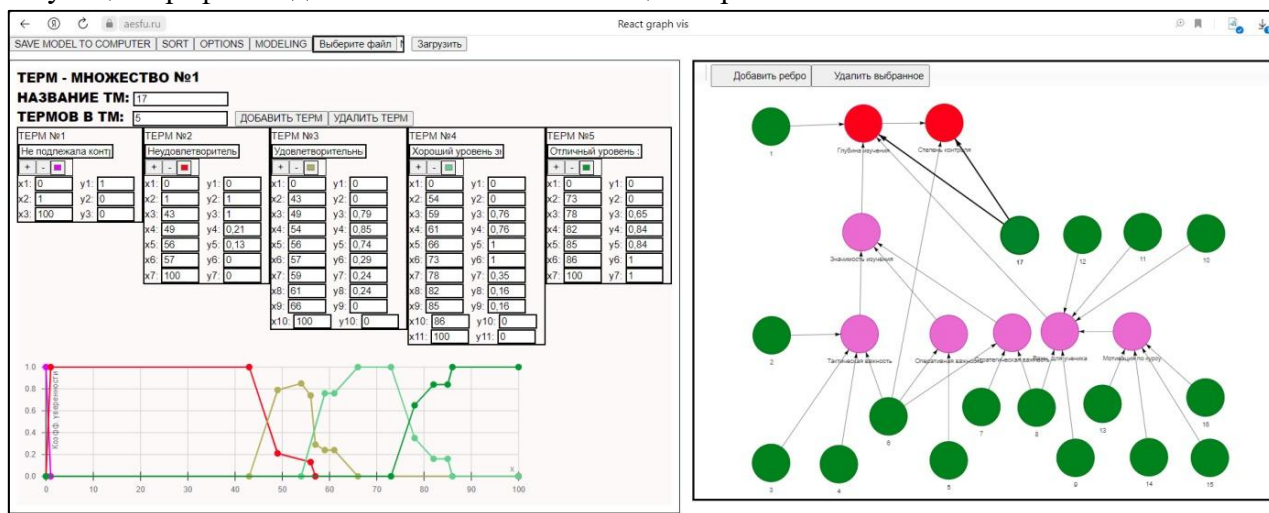


Рис. 1. Окно конструктора экспертных систем FLM_Builder: формирование графа решений (справа) и характеристических функций терм-множеств (слева)

Самостоятельным механизмом, интегрированным с flm-моделями, является метод *нечёткой логики* Л. Заде [23]. Он может быть подключён на любом этапе работы модели *M* и реализует функции фаззификации и дефаззификации. Настройка термов и терм-множеств обеспечивается в том же конструкторе FLM_Builder, а запуск просчёта с учётом выбора предпочтительного алгоритма разрешения конфликтов реализован через соответствующий API (рис. 1, слева).

Ещё одним механизмом проверки гипотез является использование *критерия уверенности Шортлиффа и Бьюкенена* [24]. Он предполагает, что каждая сложная по своей сути реакция/событие в ИАОС могут быть учтены при анализе с разных сторон: одни гипотезы в процессе появления очередного события могут повышать свой уровень достоверности, а другие – понижать. Для этого для анализируемого события формируется множество гипотез и для каждой из них эксперт выставляет свои оценки, которые в дальнейшем позволяют оценить, насколько эти гипотезы подтвердились на множестве событий. В дальнейшем результаты проверки используются как при формировании векторов входов в flm-файлы, так и для осуществления картирования. В первую очередь этот механизм применяется при формировании компетентного профиля учащихся [25].

Переходя от концепции к механизмам когнитивной компьютерной графики, следует остановиться на механизмах картирования. Собственно, механизм картирования в ИАОС

AESU представлен двумя видами карт: первые ориентированы на свёртку и концентрацию данных относительно структуры дидактического материала, а вторые – на свёртку и концентрацию относительно активности учащегося (функциональный аспект). Оба они опираются на подготовленную в $Map\{D^{ij}\}$ структуру данных (параметрическую карту), но обрабатывают и анализируют её по-разному (в зависимости от специфики решаемой задачи).

Структурное картирование реализовано в виде *когнитивных карт диагностики знаний* (ККДЗ) [26] и используется при анализе учебной ситуации с позиции обучающей системы (рефлексия). Она представляет из себя граф вида модели «маленького мира» [27], который соединяет в себе все семиотические элементы учебной ситуации из D^{ij} , используя в качестве подложки структуру дидактического материала. На карту дополнительно вводится цветовая маркировка и возможность отображения данных из связанных структурных элементов учебного плана (сводная карта) [28]. Например, если в качестве масштаба взята учебная дисциплина, то её структура для учащегося на определённый момент обучения будет выглядеть так, как показано на рис. 2 (слева).

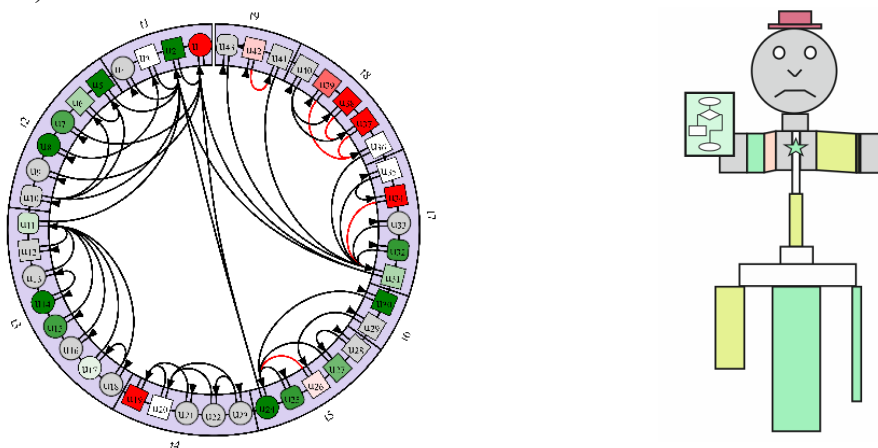


Рис. 2. Примеры ККДЗ (слева) и антропоморфного образа в нотации UGVA (справа)

Функциональные карты реализованы с помощью метода *унифицированного графического воплощения активности* (UGVA) [29]. Они базируются на пиктографии из Data Mining, где метод лиц Чернова [30] был развит до антропоморфного образа (работы В.А. Филимонова [31]), а затем адаптирован к отображению активных объектов [32]. За основу представления данных в этом методе взяты части условной человеческой фигуры, которые по своим размерам и цвету выбираются в соответствии с отдельными показателями из параметрической карты. Такой образ ориентирован для рефлексии своих достижений со стороны учащегося и, как правило, формируется относительно текущей учебной ситуации по всем изучаемым на текущий момент времени дисциплинам учебного плана (пример приведен на рис. 2, справа).

Методические решения. Объединить описанные выше механизмы в рамках одной интеллектуальной системы можно только на базе целостного методологического подхода. Поэтому кратко опишем те методические решения, которые позволяют выстроить логику принятия решений в ИАОС AESU.

Базовым методом для принятия решений планировщиком ИАОС является *модель четырехэтапной концентрации* для проверки гипотез. Суть её заключается в том, что в предельном варианте цепочка обобщения исходных данных для принятия решений включает четыре этапа:

1. Статистическая концентрация позволяет реализовать в виде самостоятельных функций три типа операций над источником данных: сгруппировать данные из выбранных источников в нужной последовательности (сформировать вектор); выполнить статистическое

- обобщение для значений одного из источников (например, поиск минимальных значений, максимальных, средних, приращений и пр.); дать оценку значения в качественной форме (например, используя метод нечёткой логики [23]).
2. Метрическая концентрация, позволяющая свести вектор предобработанных данных в единую структуру (параметрическую карту *Map*), дать оценку отдельным структурным элементам карты в количественном или качественном форматах и сформировать интерактивное графическое изображение в структурном (ККДЗ) или функциональном (UGVA) аспектах.
 3. Семантическая концентрация позволяет на ранее полученных картах выделить закономерности характерных подструктур и контрастировать их относительно специфики решаемой задачи и одной из альтернативных точек зрения (мнений моделей) на учебную ситуацию.
 4. Логическая концентрация комплексно анализирует различные точки зрения в доступных для рассмотрения аспектах и позволит получить компромиссное решение для сложившейся учебной ситуации (используется единый граф принятия решений или их множество для итерационного уточнения по модели *black board*).

Цепочки принятия решений формируются и диспетчеризируются в составе модели *M*. В процессе выработки решений планировщиком таких цепочек обобщения может быть произвольное количество, их длина может варьироваться (включать только часть цепочки). Для реализации такой функциональности был адаптирован метод *модульной концентрации данных* [33], предложенной специально для обработки нетипичных логических цепочек рассуждений со стороны интеллектуального решателя (здесь – планировщика ИАОС). Его суть заключается в том, что диспетчеризирующая модель *M* формирует трек рассуждений в виде взаимосвязанных цепочек методом, аналогичным составлению графических моделей в модуле Simulink пакета Matlab. Моделирующее ядро позволяет подключать из репозитория статистические и аналитические функции, а также графы рассуждений в виде flm-файлов, которые представляются в виде графических блоков, требующих объединения в последовательности, отвечающей потребностям задачи принятия решений. Подробное рассмотрение данного метода, реализованных механизмов конструирования моделей и их просчёта выходит за рамки данной статьи и будет представлено в виде самостоятельной работы.

Вся совокупность указанных методов, реализующих системный подход в принятии решений для задач электронного обучения, получила название *сквозного подхода* к анализу учебной ситуации [34]. Его спецификой является не только опора на гибкую логику принятия решений с помощью управляющей модели *M*, но и смещение акцента на обработку запросов, поступивших по инициативе учащегося. Центральным механизмом для этого выбрано взаимодействие учащегося с интерактивными картами (см. пример диалогового окна на левом изображении рис. 3), позволяющими человеку не только самостоятельно обследовать учебную ситуацию, но и в любой момент вызвать диалог методического типа и прояснить причины принятых планировщиком решений, а именно этот эффект и является определяющим в успешности применения ИОС. С результатами наших экспериментов по применению ИАОС AESU, демонстрирующих использование в учебном процессе сквозного подхода на базе карт, можно ознакомиться в работе [35].

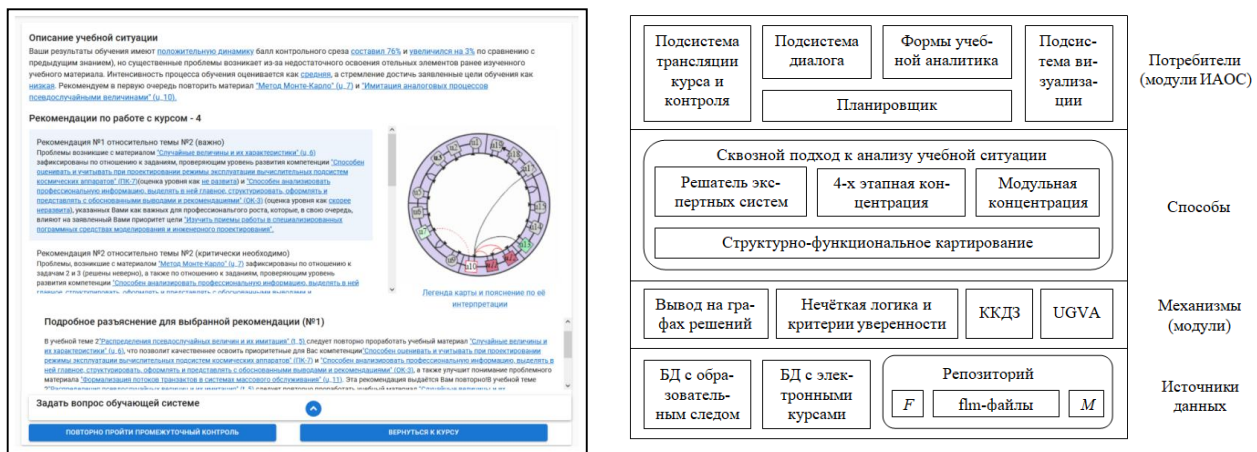


Рис. 3. Пример диалоговой формы с интегрированной интерактивной ККДЗ (слева) и архитектурная схема отвечающих за решения компонентов ИАОС (справа)

Завершая краткий обзор подходов, механизмов и методов, на базе которых организована ИАОС AESU, следует сказать несколько слов о нейронных сетях. Они не применялись в качестве ведущего механизма для данной системы: это в первую очередь связано с тем, что обучающая система должна не только принимать решения, но и объяснять их в диалоге с учащимся. Концепция ХАИ [36] в этой области приложения не показывает высоких результатов. Но мы всё же экспериментируем с возможностью использования свёрточных нейронных сетей для анализа содержимого карт (имитация визуальной интерпретации – поиск шаблонов, выделения закономерностей и аномалий).

AESU как LMS (Learning Management System) и как ИАОС. Описание ИАОС AESU будет недостаточным, если мы не затронем вопросы её функциональности на уровне архитектуры. Констатируем основные функции, которые позволяют нам причислить экспериментальную ИАОС к классу LMS (Learning Management System – система управления обучением):

- выполнение базовых функций обучающей системы (трансляция учебного материала, проведение контрольно-измерительных мероприятий);
- развита система обратной связи в виде диалога на события в учебной среде;
- наличие инструментария по компоновке дидактического материала в электронный курс, его настройке и дополнению его контрольно-измерительными материалами;
- фиксация цифрового образовательного следа в базе данных;
- наличие личных кабинетов учащихся и преподавателей.

Эти, и ряд других возможностей, позволяют реализовать типовую функциональность LMS [37] при развертывании ИАОС AESU в рамках образовательной организации без углубления в вопросы работы интеллектуального решателя. Возможности современных ИАОС [38], опираясь на описанные выше концепции, механизмы и методические решения, в предлагаемой экспериментальной обучающей системе будут следующие:

- формирование индивидуального состава дидактического материала курса и индивидуальной образовательной траектории;
- осуществление гибкого методического диалога в естественно-языковой форме как для события в обучающей среде, по инициативе учащегося, дополненного интерактивными средствами когнитивной визуализации (картами);
- адаптивный контроль и специальные механизмы проверки гипотез об уровне развития предметных и надпредметных компетентностей;
- использование механизма фазификации и дефазификации при необходимости работы с качественными значениями различных параметров учебной ситуации;

- имитация процесса рефлексии и поиска обоснованных компромиссов (каждое решение может быть поставлено под сомнение и затребованы аргументы);
- использование механизмов экспертных систем (на эвристиках и с доской объявлений) при обработке всех основных событий в системе;
- гибкий механизм проверки гипотез интеллектуальным планировщиком ИАОС.

Если встраивать специализированные функции через элементы репозитория F , сопровождая каждую моделью M , то общий состав компонентов ИАОС, отвечающих за принятие решений, можно представить в виде архитектурной схемы [39] с рис. 3 (справа). Как уже было показано выше, благодаря методу модульной концентрации данных, обновление логики работы отдельных функций из F в экспериментальной ИАОС будет обладать всеми преимуществами модульного подхода [40], изменяя стратегию проверки гипотез вплоть до модификации отдельных фрагментов баз знаний [41].

Особо следует отметить в архитектуре ИАОС AESU логику реализации стратегии экспертного принятия решений на базе механизма доски объявлений (модель black board). Она базируется на том, что модели ученика, учителя, методиста и тьютора имеют собственные фрагменты баз знаний (источники знаний или knowledge source по [24]). В качестве общей модели предметной области выступает параметрическая карта, визуальная основа для представления которой относительно всех моделей едина – это подложка к ККДЗ (базовая карта по [26]). На неё накладываются индивидуализированные «взгляды» моделей в разных аспектах, а затем, используя механизм итерационного согласования, вырабатывается компромиссное решение, отвечающее задаче анализа текущей учебной ситуации.

Характерной чертой ИАОС является то, что учащийся не только активно взаимодействует с обучающей средой, но и критически относится к её решениям [42]. Для снижения уровня недоверия к этим решениям используются три механизма. Первые два мы уже упомянули: первый – это картирование учебной ситуации и её обследование в интерактивном режиме, второй – методический диалог, направляемый учащимся. Третий механизм – это согласование решения с учащимся-человеком. После решения сложной задачи (например, синтеза индивидуализированной сборки электронного курса и индивидуальной образовательной траектории его изучения) учащемуся предъявляется решение, сопровождаемое той же ККДЗ, с возможностью «обсудить» его. При этом любой элемент решения может получить согласование, запрос на разъяснение, предложение альтернативы или запрос на исключение. Обработка этого взаимодействия также запускает механизм принятия решений с доской объявлений, где картирование играет одну из ключевых ролей. Такой подход позволяет вовлечь учащегося (инициируя рефлексивную деятельность [43]) в сам процесс принятия решений, повышая уровень принятия дальнейших педагогических воздействий.

Заключение. Системный подход к процессу обеспечения принятия объяснимых решений в ИАОС AESU позволил не только задействовать потенциал лежащих в её основе концепций и механизмов, но и за счёт их сочетания получить эмерджентный эффект в идее формирования нового подхода к организации работы обучающей системы. Если пользоваться классификацией уровней функциональных возможностей интеллектуальных систем В.К. Финна, то реализуемый в ИАОС AESU подход обеспечивает уровни $D1$ и $D2$, а за счёт механизма [34] обладает элементами $D3$ [15]. Исследования в этой области нами продолжаются, обучающая система AESU постепенно наращивает свои функциональные возможности.

Механизмы и подходы, описанные выше, предполагают не только комплексный подход к организации электронного обучения на базе интеллектуальных автоматизированных обучающих систем, но и специфическую архитектуру построения такой системы. Отмеченные в

данной статье архитектурные решения только в первом приближении описывают организацию нашей экспериментальной ИАОС AESU. Подробное описание архитектуры и логики работы планировщика в режиме доски объявлений будет представлено в виде самостоятельной публикации.

Список источников

1. Искусственный интеллект в образовании: Социальная практика современной России: Доклад по итогам стратегической сессии Института наследия и современного общества РГГУ. – М.: РГГУ, 2026. – 171 с. – URL: https://iniso.rgu.ru/publications/doklad_ii_v_obrazovanii/.
2. Giannakos M. et al. The promise and challenges of generative AI in education. *Behaviour & Information Technology*, 2024, pp. 1–27, DOI: 10.1080/0144929X.2024.2394886.
3. Денисов М.Е. Онлайн-тренажер "Как это работает: Алгоритмы" / М.Е. Денисов, О.А. Сычёв, Г.В. Терехов // Информационные технологии, 2023. – № 29(5). – С. 267–276. – DOI: 10.17587/it.29.267-276.
4. Карпенко А.П. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор / А.П. Карпенко, А.А. Добряков // Машиностроение и компьютерные технологии, 2011. – № 7. – С. 1-63.
5. Углев В.А. Автоматизированные обучающие системы нового поколения: основные черты и принципы организации / В.А. Углев // Перспективные методы и средства интеллектуальных систем: материалы Всероссийского научно-практического семинара и школы молодых ученых. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – С. 37–40.
6. Углев В.А. Представление учебной ситуации в интеллектуальных автоматизированных обучающих системах с позиций прикладной семиотики / В.А. Углев // Робототехника и искусственный интеллект: материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Красноярск: ЛИТЕРА-принт, 2022. – С. 76-83.
7. Рыбина Г.В. Интеллектуальные обучающие системы на основе интегрированных экспертных систем: учеб. Пособие / Г.В. Рыбина. – М.: Директ-Медиа, 2023. – 132 с.
8. Troussas C., Krouska A., Sgouropoulou C. Enhancing human-computer interaction in digital repositories through a mcda-based recommender system. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2021, vol. 2021, art. 7213246, DOI: 10.1155/2021/7213246.
9. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональных систем / П.К. Анохин. – М.: Наука, 1980. – 200 с.
10. Анохин П.К. Проблема принятия решений в психологии и физиологии / П.К. Анохин // Проблемы принятия решений: сборник статей. – М.: Наука, 1974. – С. 7-15.
11. Углев В.А. Модель учебной ситуации для интеллектуального планировщика обучающей системы / В.А. Углев // XXIII национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2025). – СПб., 2025. – С. 91-102. – DOI: 10.15622/rcai.2025.008.
12. Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семиотике / Г.С. Осипов // Новости искусственного интеллекта, 2002. – № 6. – С. 3-7.
13. Поспелов Д.А. Прикладная семиотика / Д.А. Поспелов, Г.С. Осипов // Новости искусственного интеллекта, 1999. – № 1. – С. 9–35.
14. Углев В.А. Представление учебной ситуации как знака и подходы к её визуализации с помощью когнитивной графики / В.А. Углев // Поспеловские чтения: искусственный интеллект - проблемы и перспективы: материалы Всероссийской конференции. – М.: Изд-во ФИЦ ИУ РАН, 2002. – С. 81-89.
15. Финн В.К. Искусственный интеллект: Методология. Применения. Философия / В.К. Финн. – М.: ЛЕНАНД, 2023. – 468 с.
16. Лефевр В.А. Лекции по теории рефлексивных игр / В.А. Лефевр. – М.: Когито-Центр, 2009. – 218 с.
17. Углев В.А. Базовая модель процессов рефлексии в интеллектуальных автоматизированных обучающих системах / В.А. Углев // Математические структуры и моделирование, 2018. – № 1. – С. 111–121.
18. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика / А.А. Зенкин. – М.: Наука, 1991. – 192 с.
19. Поспелов Д.А. Десять "горячих точек" в исследованиях по искусственному интеллекту / Д.А. Поспелов // Искусственный интеллект и принятие решений, 2019. – № 4. – С. 3–9.
20. Han J., Kamber M. *Data mining: concepts and techniques*. 2nd ed. University of Illinois at Urbana Champaign, Morgan Kaufmann, 2006, 560 p.
21. Ilves K., Leinonen J., Hellas A. Supporting self-regulated learning with visualizations in online learning environments. *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 2018, pp. 257–262, DOI: 10.1145/3159450.3159509.
22. Болсуновский Н.А. Конструктор продукционных экспертных систем с элементами нечёткой логики FLM_Builder и интеграция его моделей в пользовательские проекты / Н.А. Болсуновский, А.Д. Пронин,

- В.А. Углев // Нейроинформатика, ее приложения и анализ данных: XXX Всероссийский семинар. – Красноярск: ИБМ СО РАН, 2022. – С. 24-33.
23. Zadeh L.A., Aliev R.A. Fuzzy logic theory and applications: part I and part II. New Jersey, USA, World Scientific Publishing, 2018.
24. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – М.: Вильямс, 2001. – 624 с.
25. Uglev V., Shangina E. Assessment and visualization of course-level and curriculum-level competency profiles. Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops, LNCS, vol. 14104, Springer, Cham, 2023, pp. 478–493, DOI: 10.1007/978-3-031-37105-9_32.
26. Uglev V.A. Cognitive Maps of Knowledge Diagnosis (CMKD): the essence of the method, classification, characteristics and synthesis principles. Novel & Intelligent Digital Systems: Proceedings of the 4th International Conference (NiDS 2024), NiDS 2024, Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 1170, Springer, Cham, 2024, pp. 594–605, DOI: 10.1007/978-3-031-73344-4_51.
27. Milgram S. et al. The small world problem. Psychology Today, 1967, vol. 2, no. 1, pp. 60–67.
28. Углев В.А. Визуализация динамики учебного процесса с помощью когнитивных карт диагностики знаний в интеллектуальных обучающих системах / В.А. Углев, Г.А. Смирнов // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2025. – № 1 (37). – С. 122-129. – DOI: 10.25729/ESI.2025.37.1.012.
29. Углев В.А. Поддержка процесса принятия решений с использованием нотации унифицированного графического воплощения активности (UGVA) / В.А. Углев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение, 2023. – № 3(144). – С. 125-140. – DOI: 10.18698/0236-3933-2023-3-125-140.
30. Chernoff H. The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically. Journal of the American Statistical Association, 1973, vol. 68, pp. 361-368.
31. Филимонов В.А. Способ когнитивной визуализации многопараметрических компонентов системы / В.А. Филимонов // Робототехника и искусственный интеллект: материалы XIII Всероссийской конференции с международным участием. – Красноярск: Литера-принт, 2021. – С. 136-140. – URL: https://aesu.ru/local/conference/_docs/2021/RAI-21_print.pdf.
32. Uglev V., Meshkov S., Kuznetsov M. Methodology of complex visual representation of human activity using cognitive visualization. Journal of Integrated Design and Process Science, 2024, vol. 27, no. 3-4, pp. 184-199, DOI: 10.1177/10920617241289768.
33. Uglev V. An approach to organizing intelligent tutoring systems with customizable decision-making logic. Intelligent Tutoring Systems, LNCS, vol. 15723, Springer, Cham, 2025, pp. 47-58, DOI: 10.1007/978-3-031-98281-1_4.
34. Uglev V., Gavrilova T. Cross-cutting visual support of decision making for forming personalized learning space. Novel & Intelligent Digital Systems: Proceedings of the 2nd International Conference (NiDS 2022), NiDS 2022, Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 556, Springer, Cham, 2022, pp. 3-13, DOI: 10.1007/978-3-031-17601-2_1.
35. Uglev V., Smirnov G. A cross-cutting approach to analysis of the learning situation in ITS using a mapping mechanism. Journal of Integrated Design and Process Science, 2024, vol. 27, no. 3-4, pp. 288-303, DOI: 10.1177/10920617241289777.
36. Khosravi H., Shum S.B. et al. Explainable artificial intelligence in education. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2022, vol. 3, 100074, DOI: 10.1016/j.caeai.2022.100074.
37. Левин С.М. Не все LMS одинаково полезны (для обучения) / С.М. Левин // Национальная ассоциация ученых, 2021. – № 66-3. – С. 22-26.
38. Du Boulay B., Mitrovic A., Yacef K. Handbook of artificial intelligence in education. Edward Elgar Publishing, 2023, DOI: 10.4337/9781800375413.
39. Kossiakoff A. et al. Systems engineering principles and practice. vol. 83. John Wiley & Sons, 2011, 560 p.
40. Васильев А.Л. Модульный принцип формирования техники / А.Л. Васильев. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 238 с.
41. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 382 с.
42. Baker R.S. Stupid tutoring systems, intelligent humans. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2016, vol. 26, no. 2, pp. 600-614, DOI: 10.1007/s40593-016-0105-0.
43. Щенников С.А. Дидактика электронного обучения / С.А. Щенников // Высшее образование в России, 2010. – № 12. – С. 83-90.

Углев Виктор Александрович. Доцент, канд. техн. наук ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Московский университет МВД России им. В.Я. Кикотя, доцент. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. Основные направления исследований: интеллектуальные автоматизированные обучающие

системы, инженерия знаний, системная инженерия, когнитивная компьютерная графика, имитационное моделирование, методология науки. AuthorID: 559875, SPIN: 7368-2910, ORCID: 0000-0003-1205-2652, uglev-v@yandex.ru. 662971 Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Кирова, д. 12а, ауд. 210.

Смирнов Георгий Артёмович. Аспирант ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Основные направления исследований: искусственный интеллект, автоматизированные обучающие системы, инженерия знаний, системная инженерия. AuthorID: 1245841, SPIN: 9183-5051, ORCID: 0009-0003-7402-4419, Determaer2012@gmail.com. 662971 Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Кирова, д. 12а, ауд. 210.

UDC 004.89:004.832.3:378

DOI:10.25729/ESI.2026.43.3.004

AESU Intelligent Tutoring Systems and its underlying concepts, mechanisms and methods

Viktor A. Uglev^{1,2}, Georgy A. Smirnov¹

¹Siberian Federal University, Russia, Zheleznogorsk, vauglev@sfu-kras.ru

²Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Russia, Moscow

Abstract. The problem of a systematic and scientifically-based approach to the organization of e-learning is becoming increasingly relevant in the context of the widespread use of large language models. This article explores the issue of conceptual and methodological support for the operation of Intelligent Tutoring Systems (ITS). It highlights the challenge of describing and explaining the internal mechanisms of these systems in scientific publications, allowing for the verification and automatic explanation of their decisions. As an example, the author's experimental learning system, AESU, is examined. The article focuses on the fundamental concepts, mechanisms, and methodological solutions employed in this system. The main concepts include P.K. Anokhin's theory of functional systems (the model of afferent synthesis), D.A. Pospelov's applied semiotics and V.A. Lefebvre's theory of reflexive control. The role of cognitive visualization (mapping) in the synthesis of solutions is demonstrated. This involves combining the logic of production expert systems, fuzzy logic, and Shortliffe's hypothesis testing, which are the intellectual mechanisms of the learning system's solver. The emergent effect arising from the use of the above-mentioned concepts and mechanisms allows us to propose an author's approach to the implementation of modular data concentration and cross-cutting approach of the learning situation. The structural and functional notation of maps becomes the system-forming element in the synthesis of ITS solutions: the method of Cognitive Maps of Knowledge Diagnosis and the method of Unified Graphic Visualization of Activity. The article demonstrates the possibility of mutual transition between the parametric and visual representation of the learning situation between these types of maps and their use in the development of solutions by both the solver of the learning system and the student during their work in the electronic learning environment. In conclusion, the architectural features of the AESU ITS are noted. In addition to the typical functions of learning management systems, the proposed ITS implements a dialogic mechanism for interacting with students in a natural language form without using the capabilities of large language models. The flexible feedback mechanism allows for interactive dialogue based on methodologically sound conclusions, which increases the level of trust between the student and the learning system and promotes engagement in the educational process based on the ITS.

Keywords: electronic learning, Intelligent Tutoring Systems, cognitive visualization, decision-making, method

References

1. Iskusstvennyj intellekt v obrazovanii: Social'naya praktika sovremennoj Rossii: Doklad po itogam strategicheskoy sessii Instituta naslediya i sovremennogo obshchestva RGGU [Artificial Intelligence in Education: Social Practice in Contemporary Russia: Report on the Strategic Session of the Institute of Heritage and Contemporary Society]. Moscow, RSGI, 2026, 171 p, available at: https://iniso.rgg.ru/publications/doklad_ii_v_obrazovanii/.
2. Giannakos M. et al. The promise and challenges of generative AI in education. Behaviour & Information Technology, 2024, pp. 1–27, DOI: 10.1080/0144929X.2024.2394886.

3. Denisov M.E., Sychev O.A., Terekhov G.V. Onlayn-trenazher "Kak eto rabotayet: Algoritmy" [Online simulator "How it works: Algorithms"]. *Informatsionnyye tekhnologii* [Information Technology], 2023, vol. 29, no. 5, pp. 267–276, DOI: 10.17587/it.29.267-276.
4. Karpenko A.P., Dobryakov A.A. Model'noye obespecheniye avtomatizirovannykh obuchayushchikh sistem. *Obzor* [Model support of automated learning systems. Review]. *Mashinostroyeniye i kompyuternyye tekhnologii* [Mechanical Engineering and Computer Technologies], 2011, no. 7, pp. 1-63.
5. Uglev V.A. Avtomatizirovannyye obuchayushchiye sistemy novogo pokoleniya: osnovnyye cherty i printsipy organizatsii [New generation of Intelligent Tutoring Systems: main features and principles of organization]. *Perspektivnyye metody i sredstva intellektual'nykh sistem: materialy Vserossiyskogo nauchno-prakticheskogo seminar i shkoly molodykh uchenykh* [Advanced Methods and Tools of Intelligent Systems: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Seminar and School of Young Scientists]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2015, pp. 37–40.
6. Uglev V.A. Predstavleniye uchebnoy situatsii v intellektual'nykh avtomatizirovannykh obuchayushchikh sistemakh s pozitsiy prikladnoy semiotiki [Representation of the learning situation in Intelligent Tutoring Systems from the standpoint of applied semiotics]. *Robototekhnika i iskusstvennyy intellekt: materialy XIV Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Robotics and Artificial Intelligence: Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation]. Krasnoyarsk, LITERA-print Publ., 2022, pp. 76-83.
7. Rybina G.V. Intellektual'nyye obuchayushchiye sistemy na osnove integrirovannykh ekspertnykh sistem: ucheb. posobiye [Intelligent learning systems based on integrated expert systems: textbook]. Moscow, Direkt-Media Publ., 2023, 132 p.
8. Troussas C., Krouska A., Sgouropoulou C. Enhancing human-computer interaction in digital repositories through a mcda-based recommender system. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2021, vol. 2021, art. 7213246, DOI: 10.1155/2021/7213246.
9. Anokhin P.K. Uzlovyye voprosy teorii funktsional'nykh sistem [Key issues of the theory of functional systems]. Moscow, Nauka [Science] Publ., 1980, 200 p.
10. Anokhin P.K. Problema prinyatiya resheniy v psikhologii i fiziologii [The problem of decision making in psychology and physiology]. *Problemy prinyatiya resheniy: sbornik statey* [Problems of Decision Making: Collection of Articles]. Moscow, Nauka [Science] Publ., 1974, pp. 7-15.
11. Uglev V.A. Model' uchebnoy situatsii dlya intellektual'nogo planirovshchika obuchayushchey sistemy [A learning situation model for an intelligent tutoring systems planner]. *XXIII natsional'naya konferentsiya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiyem (KII-2025)* [XXIII National Conference on Artificial Intelligence with International Participation (RCAI-2025)]. Saint Petersburg, 2025, pp. 91-102, DOI: 10.15622/rcai.2025.008.
12. Osipov G.S. Ot situatsionnogo upravleniya k prikladnoy semiotike [From situational control to applied semiotics]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [Artificial Intelligence News], 2002, no. 6, pp. 3-7.
13. Pospelov D.A., Osipov G.S. Prikladnaya semiotika [Applied semiotics]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [Artificial Intelligence News], 1999, no. 1, pp. 9–35.
14. Uglev V.A. Predstavleniye uchebnoy situatsii kak znaka i podkhody k yeye vizualizatsii s pomoshch'yu kognitivnoy grafiki [Representation of the learning situation as a sign and approaches to its visualization using cognitive graphics]. *Pospelovskiye chteniya: iskusstvennyy intellekt - problemy i perspektivy: materialy Vserossiyskoy konferentsii* [Pospelov Readings: Artificial Intelligence - Problems and Prospects: Proceedings of the All-Russian Conference]. Moscow, FRC IU RAS Publ., 2002, pp. 81-89.
15. Finn V.K. *Iskusstvennyy intellekt: Metodologiya. Primeneniya. Filosofiya* [Artificial intelligence: Methodology. Applications. Philosophy]. Moscow, LENAND Publ., 2023, 468 p.
16. Lefevre V.A. *Leksii po teorii refleksivnykh igr* [Lectures on the theory of reflexive games]. Moscow, Kogito-Tsentr [Cogito-Center] Publ., 2009, 218 p.
17. Uglev V.A. Bazovaya model' protsessov refleksii v intellektual'nykh avtomatizirovannykh obuchayushchikh sistemakh [The base model of reflexive process in the intellectual automation educational systems]. *Matematicheskiye struktury i modelirovaniye* [Mathematical Structures and Modeling], 2018, no. 1, pp. 111–121.
18. Zenkin A.A. *Kognitivnaya komp'yuternaya grafika* [Cognitive computer graphics]. Moscow, Nauka [Science] Publ., 1991, 192 p.
19. Pospelov D.A. Desyat "goryachikh tochek" v issledovaniyakh po iskusstvennomu intellektu [Ten "hot spots" in artificial intelligence research]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making], 2019, no. 4, pp. 3–9.
20. Han J., Kamber M. *Data mining: concepts and techniques*. 2nd ed. University of Illinois at Urbana Champaign, Morgan Kaufmann, 2006, 560 p.

21. Ilves K., Leinonen J., Hellas A. Supporting self-regulated learning with visualizations in online learning environments. *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 2018, pp. 257–262, DOI: 10.1145/3159450.3159509.
22. Bolsunovsky N.A., Pronin A.D., Uglev V.A. Konstruktor produktsionnykh ekspertnykh sistem s elementami nechetkoy logiki FLM_Builder i integratsiya yego modeley v pol'zovatel'skiye proyekty [Constructor of production expert systems with fuzzy logic elements FLM_Builder and integration of its models into user projects]. *Neyroinformatika, yeye prilozheniya i analiz dannykh: XXX Vserossiyskiy seminar [Neuroinformatics, Its Applications and Data Analysis: XXX All-Russian Seminar]*. Krasnoyarsk, ICM SB RAS Publ., 2022, pp. 24–33.
23. Zadeh L.A., Aliev R.A. *Fuzzy logic theory and applications: part I and part II*. New Jersey, USA, World Scientific Publishing, 2018.
24. Jackson P. *Vvedeniye v ekspertnyye sistemy [Introduction to expert systems]*. Moscow, Williams Publ., 2001, 624 p.
25. Uglev V., Shangina E. Assessment and visualization of course-level and curriculum-level competency profiles. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops, LNCS*, vol. 14104, Springer, Cham, 2023, pp. 478–493, DOI: 10.1007/978-3-031-37105-9_32.
26. Uglev V.A. Cognitive Maps of Knowledge Diagnosis (CMKD): the essence of the method, classification, characteristics and synthesis principles. *Novel & Intelligent Digital Systems: Proceedings of the 4th International Conference (NiDS 2024), NiDS 2024, Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 1170, Springer, Cham, 2024, pp. 594–605, DOI: 10.1007/978-3-031-73344-4_51.
27. Milgram S. et al. The small world problem. *Psychology Today*, 1967, vol. 2, no. 1, pp. 60–67.
28. Uglev V.A., Smirnov G.A. Vizualizatsiya dinamiki uchebnogo protsessa s pomoshch'yu kognitivnykh kart diagnostiki znaniy v intellektual'nykh obuchayushchikh sistemakh [Visualization of the learning process dynamics using Cognitive Maps of Knowledge Diagnosis in Intelligent Tutoring Systems]. *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and Mathematical Technologies in Science and Management]*, 2025, no. 1 (37), pp. 122–129, DOI: 10.25729/ESI.2025.37.1.012.
29. Uglev V.A. Podderzhka protsessa prinyatiye resheniy s ispol'zovaniyem notatsii unifitsirovannogo graficheskogo voploshcheniya aktivnosti (UGVA) [Support of decision-making by Unified Graphic Visualization of Activity notation (UGVA)]. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Priborostroyeniye [Bulletin of Bauman MSTU. Ser. Instrument Engineering]*, 2023, no. 3(144), pp. 125–140, DOI: 10.18698/0236-3933-2023-3-125-140.
30. Chernoff H. The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically. *Journal of the American Statistical Association*, 1973, vol. 68, pp. 361–368.
31. Filimonov V.A. Sposob kognitivnoy vizualizatsii mnogoparametricheskikh komponentov sistemy [Method of cognitive visualization of multi-parametric system components]. *Robototekhnika i iskusstvennyy intellekt: materialy XIII Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem [Robotics and Artificial Intelligence: Proceedings of the XIII All-Russian Conference with International Participation]*. Krasnoyarsk, Litera-print Publ., 2021, pp. 136–140. Available at: https://aesu.ru/local/conference/_docs/2021/RAI-21_print.pdf.
32. Uglev V., Meshkov S., Kuznetsov M. Methodology of complex visual representation of human activity using cognitive visualization. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 2024, vol. 27, no. 3–4, pp. 184–199, DOI: 10.1177/10920617241289768.
33. Uglev V. An approach to organizing intelligent tutoring systems with customizable decision-making logic. *Intelligent Tutoring Systems, LNCS*, vol. 15723, Springer, Cham, 2025, pp. 47–58, DOI: 10.1007/978-3-031-98281-1_4.
34. Uglev V., Gavrilova T. Cross-cutting visual support of decision making for forming personalized learning space. *Novel & Intelligent Digital Systems: Proceedings of the 2nd International Conference (NiDS 2022), NiDS 2022, Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 556, Springer, Cham, 2022, pp. 3–13, DOI: 10.1007/978-3-031-17601-2_1.
35. Uglev V., Smirnov G. A cross-cutting approach to analysis of the learning situation in ITS using a mapping mechanism. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 2024, vol. 27, no. 3–4, pp. 288–303, DOI: 10.1177/10920617241289777.
36. Khosravi H., Shum S.B. et al. Explainable artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2022, vol. 3, 100074, DOI: 10.1016/j.caeai.2022.100074.
37. Levin S.M. Ne vse LMS odinakovo polezny (dlya obucheniya) [Not all LMS are equally useful (for learning)]. *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh [National Association of Scientists]*, 2021, no. 66–3, pp. 22–26.
38. Du Boulay B., Mitrovic A., Yacef K. *Handbook of artificial intelligence in education*. Edward Elgar Publishing, 2023, DOI: 10.4337/9781800375413.
39. Kossiakoff A. et al. *Systems engineering principles and practice*. vol. 83. John Wiley & Sons, 2011, 560 p.

40. Vasiliev A.L. Modul'nyy printsip formirovaniya tekhniki [The modular principle of technology formation]. Moscow, Standards Publishing House, 1989, 238 p.
41. Gavrilova T.A., Khoroshevsky V.F. Bazy znaniy intellektual'nykh sistem [Knowledge bases of intelligent systems]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2000, 382 p.
42. Baker R.S. Stupid tutoring systems, intelligent humans. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2016, vol. 26, no. 2, pp. 600-614, DOI: 10.1007/s40593-016-0105-0.
43. Shchennikov S.A. Didaktika elektronnoy obucheniya [Didactics of e-learning]. Vyssheye obrazovaniye v Rossii [Higher Education in Russia], 2010, no. 12, pp. 83-90.

Uglov Viktor Alexandrovich. Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Siberian Federal University, Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Associate Professor. Member of the Russian Association of Artificial Intelligence. Main research areas: Intelligent Tutoring Systems, knowledge engineering, systems engineering, cognitive computer graphics, simulation modeling, methodology of science. AuthorID: 559875, SPIN: 7368-2910, ORCID: 0000-0003-1205-2652. uglov-v@yandex.ru. 662971 Krasnoyarsk territory, Zheleznogorsk, Kirova str., h. 12a, aud. 210.

Smirnov Georgy Artemovich. Postgraduate student of the Siberian Federal University. Main research areas: artificial intelligence, Intelligent Tutoring Systems, knowledge engineering, systems engineering. AuthorID: 1245841, SPIN: 9183-5051, ORCID: 0009-0003-7402-4419. Determaer2012@gmail.com. 662971 Krasnoyarsk territory, Zheleznogorsk, Kirova str., h. 12a, aud. 210.

Статья поступила в редакцию 12.11.2025; одобрена после рецензирования 20.11.2025; принята к публикации 31.07.2026.

The article was submitted 11/12/2025; approved after reviewing 11/20/2025; accepted for publication 07/31/2026.