

## МОДЕЛЬ УЧЕБНОЙ СИТУАЦИИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПЛАНИРОВЩИКА ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

В.А. Углев ([uglev-v@yandex.ru](mailto:uglev-v@yandex.ru))<sup>А,В</sup>

<sup>А</sup> Отделение интеллектуальных систем в гуманитарной сфере  
Российского государственного гуманитарного университета,  
Москва

<sup>В</sup> Кафедра прикладной физики и космических технологий  
Сибирского федерального университета, Железногорск

В работе описывается модель учебной ситуации, обрабатываемая планировщиком интеллектуальной автоматизированной обучающей системы (ИАОС). Обсуждаются вопросы её представления в процессе работы обучающей системы и последующей обработки. На примере учебного процесса в экспериментальной ИАОС, показан подход к обработке учебной ситуации, используя встроенные экспертные системы и средства картирования. Показан механизм того, как взаимодействие различных моделей по-разному интерпретирует учебную ситуацию и влияет на дальнейшее принятие решений.

**Ключевые слова:** инженерия знаний, электронное обучение, интеллектуальная автоматизированная обучающая система, учебная ситуация, когнитивная карта диагностики знаний.

### Введение

Электронное обучение, как инструмент, выполняет не только функцию выдачи (трансляции) дидактического материала и проверки знаний, но и управления учебным процессом [Беспалько, 1970]. Это заставляет разработчиков современных интеллектуальных автоматизированных обучающих систем (ИАОС, Intelligent Tutoring Systems) включать в свой состав не только подсистему интеллектуального решателя (планировщика) с базой знаний, но и модели различных сущностей. От качества составления базы знаний инженером по знаниям и адекватности построения этих самых моделей и зависит во многом результативность применения ИАОС [Рыбина, 2023]. А так как обучение в электронной среде носит индиви-

дуализированный характер, то и модели должны гибко адаптироваться к особенностям обучаемого и обстоятельствам учебной ситуации. О составлении и использовании интеллектуальным решателем ИАОС одной из таких моделей и пойдет речь в данной статье.

В состав ИАОС традиционно входят модели обучающегося (модель ученика), учебного материала (модель методиста) [Karpenko, 2011]. Примером может быть машина Скиннера [Skinner, 1986]. В развитых системах отдельно выделяются модели учебного воздействия (модель учителя) и модель балансировки целей (модель тьютора). Таким образом, модели ученика и учителя имеют возможность оценивать сложившуюся учебную ситуацию с различных точек зрения, а модель тьютора – искать компромиссное решение [Uglev, 2024b]. Но для того, чтобы все эти модели сущностей корректно работали, требуется проработанная модель учебной ситуации.

Учебную ситуацию в ИАОС анализируют либо через уже имеющиеся модели (не выделяют как отдельную сущность), либо формализуют. Например, в моделях типа Cognitive Tutors [Anderson et al., 1995], [Koedinger et al., 2007], [Lieder, 2019] реализованы развитые методы анализа учебной ситуации, хотя они жестко привязаны к предметному материалу. Ту же проблему имеют ИАОС на базе онтологий предметных областей (см, например, [Сычѳв и др., 2025]). Использование схематики (ментальных моделей и когнитивных стратегий) в модели 4C/ID [Van Merriѳnboer et al, 2002], [Frerejean et al., 2019] также предполагает детальную проработку вспомогательной информации (Supportive) и когнитивных правил (JIT) относительно изучаемого дидактического материала. Если исходить из того, что интеллектуальный планировщик ИАОС по возможности должен оперировать с любым учебным курсом, то формализация и методическая проработка модели учебной ситуации без привязки к изучаемой предметной области представляется актуальной.

## **1. Модельное обеспечение ИАОС и учебная ситуация**

Основой для анализа учебной ситуации является модель дидактического материала, относительно содержания которого обучающийся-человек производит какие-либо действия. При этом в электронном курсе выделяется как структурная часть (иерархия дидактических единиц), так и семантика взаимозависимостей её компонентов, а также целевые параметры. Даже с учётом процесса индивидуализации, в модели курса формируется траектория изучения материала, устанавливаются нормы контроля и прочие параметры (денотат). По сути, это уже объект для полноценной обработки в контексте прикладной семиотики [Поспелов и др., 1999].

Из протокола событий в обучающей среде формируется цифровой образовательный след, а прочие данные об обучающемся формируются в результате диалогового взаимодействия (заполнения анкет, ответов на предметные или методические вопросы по ходу процесса обучения).

Оценка обстановки, позволяющей принять решения, была приведена в модели П.К. Анохина (процесс афферентного синтеза [Анохин, 1975]). Её адаптированный для ИАОС вариант (текст в скобках) приведен на рис. 1. Модель учебной ситуации, в отличие от моделей сущностей, актуализируется в рабочей памяти АИОС после конкретного события, и она обязана включать в себя как параметры, связанные с электронным курсом, так и параметры, связанные с моделью обучающегося. Тактом образом, там должна отразиться как семиотическая структура вовлечённых в анализ сущностей, так и временная декомпозиция, позволяющая реализовать афферентный синтез со стороны интеллектуального планировщика.

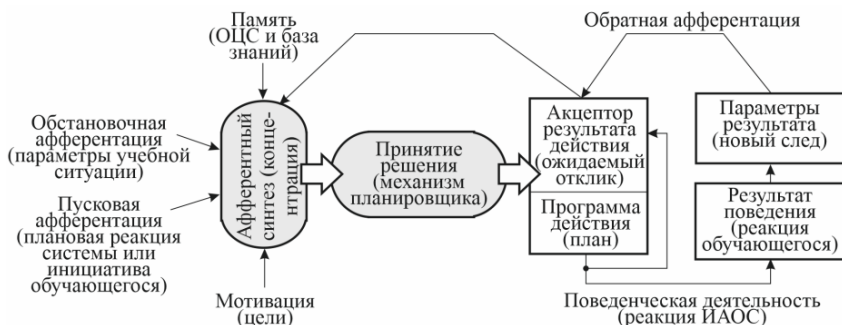


Рис. 1. Модель афферентного синтеза с адаптацией для ИАОС

Сведем всё это воедино, составив табл. 1. Из неё видно, что одни и те же компоненты источников данных имеют зависимости многие-ко-многим как в отношении модели поведенческого акта Анохина, так и элементов квадрата Пospelова. Таким образом появляется возможность интерпретировать учебный процесс в ИАОС сразу с точки зрения двух моделей.

Таблица 1

Объекты, сущности и данные, которые включены в ИАОС	Компоненты афферентного синтеза	Компонент квадрата Пospelова
1. Трек перемещений по дидактическому материалу	Обстановочная афферентация	Денотат
2. Ответы на контрольно-измерительные материалы	Обстановочная афферентация	Денотат
3. Характеристики процесса решения заданий	Обстановочная афферентация	Денотат
4. Данные анкетирования (предпочтения, целеполагание)	Мотивационное возбуждение	Прагматика и денотат

5. Траектория и характер диалога	Обстановочная афферентация	Денотат
6. Событие в ИАОС	Пусковая афферентация	Денотат
7. Иерархия дидактического материала	Память	Синтактика
8. Связи внутри учебного материала, нормативами, целями обучения, целями обучающегося	Память и Акцептор результата действий	Семантика
9. База знаний ИАОС	Память, Механизмы принятия решений	Семантика
10. Алгоритмы педагогического воздействия	Программа действий и Память	Прагматика

Как следует из табл. 1, данные первых шести строк соответствуют хранимому в протоколах ИАОС цифровому образовательному следу, строки 7 и 8 задаются моделью электронного курса, а последние две строки отражают данные из моделей сущностей (обучающегося, учителя и тьютора) и общей логики работы системы.

Пусть в момент времени  $t$  наш обучающийся с индексом  $k$  инициировал событие  $\alpha$  (характеризуется масштабом, уровнем, аспектом и динамикой [Углев и др., 2022]). Тогда параметрическую модель учебной ситуации обозначим через  $V(t, k, \alpha)$ . В её состав войдут следующие компоненты, характеризующие текущую обстановку:

- базовое состояние модели методиста –  $\Omega$  (совокупность нормативных параметров организации обучения);
- текущее состояние индивидуализированной модели курса –  $\Omega^*$  (совокупность параметров дидактического материала с учётом потребности учащегося, полученные в результате работы интеллектуального планировщика);
- текущее состояние модели обучающегося –  $U$  (совокупность параметров из ОЦС и результаты проверки гипотез об учащемся со стороны ИАОС);
- данные из образовательного цифрового следа, относящиеся к текущему состоянию процесса обучения –  $P$  (выборки их протоколов событий в ИАОС);
- данные из образовательного цифрового следа, относящиеся к истории процесса обучения (динамика,  $P^*$ );
- база знаний ИАОС, включающая логику принятия решений моделей учителя и тьютора ( $Kb$ ), в виде коллекции правил, прецедентов и пр.

Тогда общая модель учебной ситуации будет представлена в виде кортежа (1).

$$V(t, k, \phi) = \langle U_k, P, P' \mid \Omega, \Omega', Kb \rangle. \quad (1)$$

Так как  $V$  группирует в рабочей памяти ИАОС данные для конкретной учебной ситуации, предполагающей выполнение акта принятия решений, то мы будем совокупность этих данных называть *параметрической картой* учебной ситуации. Предложенный подход позволяет не только рассмотреть далее оригинальные методы обработки  $V$  для управления учебным процессом, но и для автоматической выработки пояснений принятых решений.

## 2. Картирование учебной ситуации

Параметрическая карта, как сгруппированная выборка данных для принятия решения, обуславливает только структурный состав анализируемых параметров. Собственно, механизм принятия решений при наступлении  $\phi$ го события реализуется интеллектуальным планировщиком ИАОС. Если мы обозначим через  $M$  модель реакции системы (педагогического воздействия), то переход от  $V$  к  $y$  (решению) в модели может быть реализовано за произвольное число шагов. В работе [Углев и др., 2022] мы предложили концепцию сквозного подхода к анализу учебной ситуации. Она предполагает, что синтаксический, семантический и прагматический слои объединяются в виде единой графической структуры – *когнитивной карты диагностики знаний* (ККДЗ) [Uglev, 2024a].

Если кратко описать сущность ККДЗ, то это таким образом сгруппированные данные синтактики учебного материала, которые, дополненные семантическими связями, формируют подложку (контур) для наложения данных об оперативной обстановке (денотат), различных аспектах рассмотрения, а также позволяет выделять выявленные автоматически интеллектуальной системой акценты. Визуально такую карту можно представить в виде модели маленького мира [Milgram et al., 1967]. Например, для картирования учебного курса на карте выделяются отдельные дидактические единицы ( $u_i$ ), сгруппированные по темам и расположенные так, как предписывает образовательная траектория из  $\Omega'$ . Поэтому если подложка карты может содержать только данные из  $V$  без компонентов образовательного цифрового следа  $P$  (индивидуализированная карта, рис. 2,а), то для принятия решения в текущей ситуации на карту наносятся оперативные данные, отражающие текущую диспозицию в одном из аспектов рассмотрения (частная карта, знаниевый аспект, рис. 2,б). Цветом на рисунке выделены оценки результатов деятельности обучающегося относительно каждой подлежащей проверке  $u_i$ : красный цвет соответствует низкой оценке показателя в рассматриваемом аспекте; зелёный – высокой;

переход от красной к белой (нейтральной) и от белой к зелёной – промежуточным вариантам оценки; серый обозначает не оцениваемые компоненты. Анализ карты происходит автоматически, но и на визуальном отображении видно, например, что проблемы в освоении дидактической единицы  $u_{28}$  «Структуры данных при формализации баз знаний и алгоритмы их обхода» обуславливается не только результатами изучения  $u_{27}$  «Интеллектуальный решатель и цикл его работы», но и, с высокой долей вероятности, изучения элемента карты  $u_3$  «Схема цикла разработки интеллектуальных информационных систем». Такая гипотеза проверяется сразу в нескольких аспектах анализа и на этом основании в дальнейшем ИАОС синтезирует рекомендации. Обновление содержимого параметрической карты происходит по каждому событию в ИАОС, что позволяет сформировать актуальное визуальное отображение  $V$ .

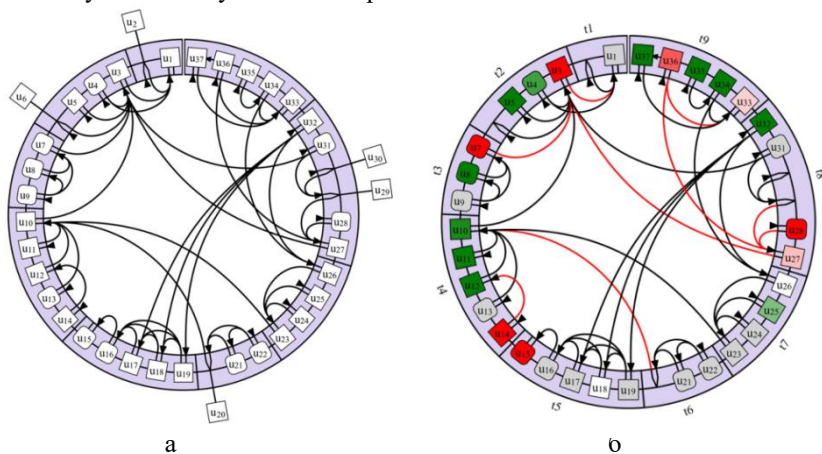


Рис. 2. Индивидуализированная и частная ККДЗ на примере учебного курса «Системы искусственного интеллекта» магистра специальности «Информатика и вычислительная техника» [Uglev, 2024a]

Специфика такого представления данных об учебной ситуации позволяет интеллектуальному решателю независимо проанализировать данные относительно базы знаний любой из сущностей (модели ученика, учителя и тьютора), найдя компромиссное решение и выработать аргументы для объясняющего (методического) диалога с обучающимся. Подробнее об обосновании подхода к выработке решений см. в [Углев и др., 2022]. А вот механизм реализации работы с учебной ситуацией следует раскрыть подробнее.

### 3. Реализация механизма оценки учебной ситуации

Рассмотрим процесс обработки данных из  $V$  на примере экспериментальной ИАОС AESU. В её основе лежит подход, который предполагает использование экспертных систем на базе технологии доски объявлений (black board) [Jackson, 1999].

Типовым компонентом, реализующим принятие решение в ИАОС AESU, является модель решений  $M$ , которая ассоциируется с определённым событием в обучающей системе и предполагает выгрузку из параметрической карты необходимой выборки данных. Такие данные представляются в виде ККДЗ, но, без необходимости, не выводятся на экран пользователя. Сборка различных типов ККДЗ реализуется подключаемым компонентом продукционных экспертных систем для каждой сущности по-отдельности: сначала карта для модели ученика, затем учителя, а потом ищется компромиссная конфигурация с помощью логики модели тьютора.

Модель решений поддерживает процесс фазификации входных количественных данных [Zadeh et al., 2018]. Для этого в графе модели настраиваются соответствующие характеристические функции, а логика соответствующего фрагмента базы знаний работает уже с качественными значениями (результатом фазификации), дополненными коэффициентом уверенности [Uglev, 2024c]. Пример графа решений, позволяющий синтезировать индивидуализированный состав электронного курса и сборки для него ККДЗ (см. рис. 2,а), приведен на рис. 3 (правая часть окна), а характеристические функции для фазификации одного из входов – в левой части окна программы.

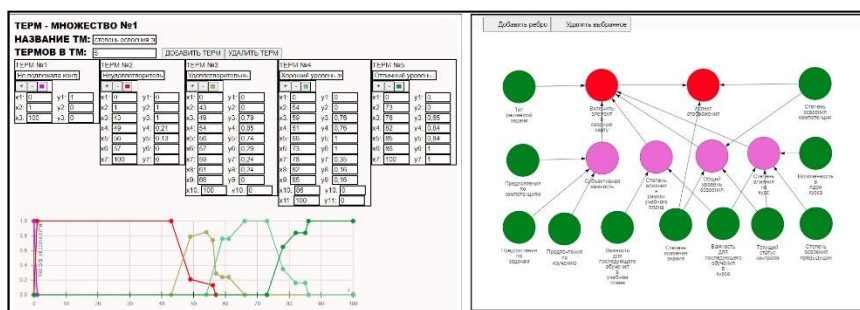


Рис. 3. Интерфейс конструктора модели решений в окне программы FLM\_Builder с загруженной моделью по индивидуализации состава учебного курса [Uglev, 2024c]

Приведем пример: пусть имеется запрос о помощи со стороны учащегося при выполнении задания ( $\Phi_7$ ) из дидактической единицы  $u_{28}$  с рис. 2,б. В соответствии с этим событием, ассоциированным в ИАОС с

моделью  $M_{17}$ , априори имеется соответствующая часть базы знаний (правила  $Kb_{17}$ ), а также модель электронного курса (дидактические единицы с параметрами важности в теме и курсе, сложности изучения, семантических связей и пр. метаданные из  $\Omega$ , имеющих отношение к  $u_{28}$  и связанным с ней элементам. Уточнение текущей конфигурации курса  $\Omega^*$ , соответствующего индивидуальной образовательной траектории, ранее выработанной интеллектуальным планировщиком и согласованной с обучающимся, описывается в виде подмножества параметров из  $\Omega_{\text{см}}$ , например, отсутствие элементов  $u_{29}$  и  $u_{23}$  на картах с рис. 2).

С целью концентрации ситуационных данных подгружается статистика работы обучающегося с  $u_8$  в виде  $P$  и  $P'$  (частотно-временные параметры обращений, результативность контроля и характер ошибок). Учёт личностных потребностей учащегося (предпочтения в знании, компетентностном и целевом аспектах по отношению к рассматриваемой дидактической единице, а также текущая модель поведения) формируют выборку параметров из  $U_k$ . Таким образом, для оценки учебной ситуации  $V$  был сформирован набор параметров, которые затем передаются в  $M$  (на примере с рис. 3 – это узлы графа решений, окрашенные зелёным цветом). Очевидно, что альтернативы реакции ИАОС для  $M_{17}$  выявлены инженером по знаниям заранее. Тогда получается, что, при известном наборе анализируемых факторов, задача выработки решения представляется в виде чёрного ящика, который и следует раскрыть в виде дерева выработки решений (см. на рис. 3 пример организации связей через промежуточные гипотезы, окрашенные розовым цветом). Так как в рассматриваемом примере помощь требуется для компонента  $u_{28}$ , то модель  $M_{17}$  будет запущена сначала для этой дидактической единицы, а затем для всех тех, которые связаны прямо или косвенно с ней по ККДЗ. В результате оцениваются, ранжируются и предъявляются те меры и элементы курса для повторного обращения, которые были интеллектуальным планировщиком выбраны как наиболее значимые [Углев и др., 2022].

Механизм анализа учебной ситуации с помощью  $M$ -моделей позволяет реализовать фрагментированную базу знаний. Это даёт возможность быстро корректировать логику ИАОС со стороны инженера по знаниям, минимизируя работу программиста. При этом первичная оценка эффективности каждой отдельно взятой модели производится отдельно от остальных: вырабатываются критерии и по ним оцениваются результаты специально организуемых педагогических экспериментов. Для примера с рис. 3 из [Uglev, 2024c] оценивалась степень согласия предложенной планировщиком индивидуализированной модели учебного курса с мнением учащегося и оценивался уровень удовлетворённости человека разъяснениями со стороны ИАОС.



## 4. Результаты

Использование интеллектуальным решателем различных *M*-моделей обработки событий и их оперативное обновление стало возможным благодаря введению в экспериментальную ИАОС предложенной выше модели учебной ситуации. Её специфика заключается в том, что комплексный сбор данных о процессе обучения, объединяющий акцентны прикладной семиотики и теории функциональных систем (афферентный синтез), позволил сконцентрировать необходимые для принятия решений данные в единой структуре (параметрической карте). Это привело к тому, что за последние два года число независимых разработчиков фрагментов баз знаний (инженеров по знаниям) увеличилось втрое, а у программиста, занимающегося поддержкой системы, снизилась нагрузка в вопросах настройки логики работы ИАОС AESU (до 40%). В целом это ускорило испытания новых методик, опираясь на возможность оперировать распределённой базой знаний. Ограничениями данного подхода является зависимость от качественной формализации метаданных об учебном материале (модель методиста) и объёма ОЦС учащегося, подлежащего анализу при обработке учебной ситуации.

Особенно ценным для проекта результатом стал механизм синтеза и визуализации различных типов ККДЗ. Синтез параметрической карты по сути стал элементом процесса метрической концентрации из [Углев и др., 2022]. Это позволило автоматически получать более убедительные аргументы при пояснении решений ИАОС обучающемуся в ходе методического диалога. Данный результат также показывает, что в этой области следует продолжать исследования, являющиеся элементом более широкого направления ХАИ [Arrieta et al., 2020].

## Заключение

Результативность работы инженера по знаниям в реальных проектах во многом определяется возможностями интеллектуального решателя извлекать исходные данные из источников предметных знаний [Гаврилова 2001]. Гибкие модели предобработки и концентрации знаний ускоряют не только формирование моделей принятия решений, но и последующую актуализацию баз знаний. Предложенная нами модель учебной ситуации для интеллектуальных автоматизированных обучающих систем продемонстрировала возможности гибкого использования при решении широкого класса задач принятия решений о педагогическом воздействии и его пояснении.

Полученный результат, базирующийся в том числе и на модели учебной ситуации, был получен в результате целого цикла работ по исследованию механизмов картирования. В частности, были детально проработаны

ны новые типы когнитивных карт диагностики знаний [Uglev, 2024a]. Как следствие, это привело к углублению знаний о применении средств когнитивной визуализации в ИАОС, что соответствует общемировым тенденциям в исследованиях по данному направлению [Ilves, 2018]. Значительную роль в этих исследованиях сыграл подход к модульной организации логики работы планировщика, включая анализ учебной ситуации.

### Список литературы

- [Anderson et al., 1995] Anderson J.R. et al. Cognitive tutors: Lessons learned // The journal of the learning sciences. – 1995. – Vol. 4(2). – P. 167-207.
- [Arrieta et al., 2020] Arrieta A., Díaz-Rodríguez N., Del Ser et al. Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI // Information fusion. – 2020. – Vol. 58.
- [Frerejean et al., 2019] Frerejean J. et al. Designing instruction for complex learning: 4C/ID in higher education // European Journal of Education. – 2019. – Vol. 54(4). – P. 513-524. – DOI: 10.1111/ejed.12363.
- [Ilves et al., 2018] Ives K., Leinonen J., Hellas A. Supporting self-regulated learning with visualizations in online learning environments // Proceedings of the 49<sup>th</sup> ACM Technical Symposium on Computer Science Education. – 2018. – P. 257-262. – DOI: 10.1145/3159450.3159509.
- [Jackson, 1999] Jackson P. Introduction to Expert Systems, Addison-Wesley Pub. Co., Reading, 1999.
- [Karpenko, 2011] Карпенко А.П., Добряков А.А. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор // Машиностроение и компьютерные технологии. – № 7. – С. 1-63.
- [Koedinger et al., 2007] Koedinger K.R., Aleven V. Exploring the assistance dilemma in experiments with cognitive tutors // Educational psychology review. – 2007. – Vol. 19(3). – P. 239-264. – DOI: 10.1007/s10648-007-9049-0.
- [Lieder, 2019] Lieder F. et al. A cognitive tutor for helping people overcome present bias. – 2019.
- [Milgram et al., 1967] Milgram S. et al. The small world problem // Psychology today. – 1967. – Vol. 2(1). – P. 60-67.
- [Skinner, 1986] Skinner B.F. Programmed instruction revisited // Phi Delta Kappan. – 1986. – Vol. 68(2).
- [Uglev, 2024a] 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. LNNS. Vol 1170. – Springer, Cham. – DOI: 10.1007/978-3-031-73344-4\_51.
- [Uglev et al., 2024b] 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. – Vol. 27(3-4). – DOI: 10.1177/10920617241289777.
- [Uglev, 2024c] Uglev V.A. Implementation of Decision-Making Mechanism in the Intelligent Tutoring System Based on the Expert Systems Module // Pattern Recognition and Image Analysis. – Vol. 34, No. 3. – DOI: 10.1134/S1054661824700615.

- [**Van Merriënboer et al., 2002**] Van Merriënboer J.J.G., Clark R.E., De Croock M.B.M. Blueprints for complex learning: The 4C/ID-model // Educational technology research and development. – 2002. – Vol. 50(2). – P. 39-61.
- [**Zadeh et al., 2018**] Zadeh L.A., Aliev R.A. Fuzzy logic theory and applications: part I and part II, World Scientific Publishing, 2018.
- [**Анохин, 1975**] Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. – Рипол Классик, 1975.
- [**Беспалько, 1970**] Беспалько В.П. Программированное обучение. Дидактические основы. – М., 1970.
- [**Гаврилова и др., 2001**] Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001.
- [**Поспелов и др., 1999**] Поспелов Д.А., Осипов Г.С. Прикладная семиотика // Новости искусственного интеллекта. – 1999. – № 1.
- [**Рыбина, 2023**] Рыбина Г.В. Интеллектуальные обучающие системы на основе интегрированных экспертных систем: учеб. пособие. – М.: Директ-Медиа, 2023.
- [**Сычѳв и др., 2025**] Сычѳв О.А., Пенской Н.А., Терехов Г.В. Метод разработки интеллектуальных тренажеров на основе онтологии предметной области // Онтология проектирования. – 2025. – Т. 15, № 1(55). – С. 67-81.
- [**Углев и др., 2022**] Углев В.А., Гаврилова Т.А. Подход к реализации сквозной визуальной поддержки процессов принятия решений для интеллектуальных автоматизированных обучающих систем // XX национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2022). В 2 т. Т. 2. – М.: Изд-во МЭИ, 2022. – С. 413-426.