

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.89:004.94:165.9

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2026-16-2-189-203



### Интеграция контуров управления в многоуровневой архитектуре цифровых систем

© 2026, А.Н. Аверкин<sup>1</sup>, В.Н. Добрынин<sup>1</sup>, А.А. Миловидова<sup>1,2</sup> ✉

<sup>1</sup> Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

<sup>2</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

#### Аннотация

Многоуровневые цифровые системы управления характеризуются высокой структурной сложностью, динамичностью и наличием неоднородных контуров принятия решений. Существующие подходы характеризуются недостаточной формализацией согласования решений между уровнями системы в условиях неопределённости. Целью исследования является разработка формализованной трёхуровневой архитектуры управления на основе когнитивно-смысловой интеграции. В работе использованы системный анализ, когнитивное моделирование, онтологическое проектирование и гибридные технологии искусственного интеллекта. Предложена архитектурная модель, объединяющая семантический, когнитивный и вычислительный уровни в едином контуре управления, где вычислительный уровень рассматривается как подчинённый операциональный механизм реализации смысловых и когнитивных структур. Показано, что использование разработанной архитектуры обеспечивает согласование управленческих решений, снижение конфликтов между уровнями управления и повышение адаптивности системы. Новизна работы заключается в формализации принципов межуровневого согласования и самообучения в многоуровневых системах управления. Практическая значимость связана с возможностью применения предложенной архитектуры при разработке интеллектуальных платформ и систем поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** когнитивная архитектура, когнитивно-смысловая интеграция, цифровые системы, управление, адаптивность, когнитивное моделирование.

**Цитирование:** Аверкин А.Н., Добрынин В.Н., Миловидова А.А. Интеграция контуров управления в многоуровневой архитектуре цифровых систем. *Онтология проектирования*. 2026. Т.16, №2(60). С.189-203. DOI: 10.18287/2223-9537-2026-16-2-189-203.

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124112200072-2).

**Вклад авторов:** Аверкин А.Н. – разработка структуры статьи и подбор источников; Добрынин В.Н. – обоснование теоретических положений, подготовка примеров; Миловидова А.А. – формулировка концепции исследования, разработка методологии, анализ результатов.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Введение

Искусственный интеллект (ИИ) выходит за пределы вычислительных задач и аналитических процедур, превращаясь в активного партнёра человека в процессах познания, творчества и принятия решений [1, 2]. При этом возникает методологическая проблема согласования машинной точности и человеческого мышления, проблема интерпретируемости и объяснимости результатов работы ИИ. Несмотря на прогресс в области объяснительного ИИ (*XAI – eXplainable AI*), современные подходы ограничиваются ретроспективными и частными

объяснениями (ХАИ 1.0), которые не учитывают динамический контекст, ценностные ограничения и коллективную природу принятия решений. Возникает потребность в переходе к парадигме ХАИ 2.0 – системам проактивной, диалоговой и смысло-центричной объяснимости, встроенной в архитектуру интеллектуального агента [3-5]. В разрабатываемой концепции когнитивно-смысловой интеллектуальной оболочки (КСИО) предлагается модель, в которой объяснимость рассматривается как фундаментальное системное свойство, обеспечивающее согласование между семантическим, когнитивным и коммуникативным уровнями. Под коммуникативным уровнем понимается уровень диалогового и междисциплинарного согласования смыслов, интерпретаций и целей между человеком, междисциплинарным коллективом и интеллектуальной оболочкой (а не только интерфейсное взаимодействие).

Цель настоящего исследования состоит в разработке концепции КСИО – архитектурной модели, интегрирующей семантические, когнитивные и коммуникативные уровни в человеко-машинной системе. В этой концепции материально-технологическое обеспечение рассматривается как инфраструктурная основа, а смысловые и коммуникативные контуры определяют адаптивность и способность цифровых процессов к саморазвитию.

Для построения трёхуровневой архитектуры управления использованы гибридные технологии ИИ, включая большие языковые модели (БЯМ) и механизмы хрономоделирования. В качестве инструментов синтеза и проверки применялись семантическое моделирование, сценарное прогнозирование и методы мультиагентной имитации.

## 1 Методологические основы

Методологический каркас КСИО формируется на пересечении системного анализа, когнитивных наук, философии сознания, технологий ИИ [6-10].

Инструментальное ядро КСИО включает совокупность взаимосвязанных средств, обеспечивающих формализацию, согласование и объяснимость управленческих и проектных решений в условиях смысловой неоднородности и неопределённости. К числу таких средств относятся: многослойные модели хрономоделирования, иерархическая система метрических концептуальных шаблонов (ИСМКШ), а также БЯМ, используемые для обработки и интерпретации слабоформализованной информации [11, 12]. Под многослойными моделями хрономоделирования в КСИО понимаются формализованные модели представления, анализа и согласования управленческих процессов во времени. Эти модели позволяют согласовывать краткосрочные, среднесрочные и стратегические решения в едином когнитивно-смысловом контуре управления. ИСМКШ предназначена для формализованного описания и согласования понятий, моделей и отношений между уровнями управления на основе заданных метрик и шкал оценивания. ИСМКШ рассматривается как набор доменно-независимых *мета-шаблонов* для описания целей, ограничений, методов и критериев оценки в различных контекстах деятельности междисциплинарных коллективов.

Примером такого шаблона может служить метрический концептуальный шаблон «Задача», используемый для формализованного описания и согласования задач различной природы. Здесь задача трактуется как процесс преобразования исходного состояния  $X$  (материального, информационного или их сочетания) в результат  $Y$ , соответствующий заданной цели  $C$ , при наличии ограничений  $G(X, Y) = 0$ . Цель  $C$  понимается как мысленное желаемое состояние результата, представленное в материальной, информационной или иной форме. Преобразование  $X \rightarrow Y$  осуществляется с использованием метода  $F$ , задающего способ, инструкцию или правило получения результата. Для оценки достижения цели в шаблоне вводится система критериев  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$ , для которых определяются соответствующие шкалы измерения  $H$ , методы измерения  $M_k$  и методы оценки  $M_{1k}$ . Результат задачи представляется в заданной форме  $R$  (графической, текстовой, мультимедийной и др.), после чего выполняется его интерпретация  $P$  в нотации цели и аргументация  $E$  степени соответствия полученного результата поставленной цели. Уровень соответствия результата цели фиксируется показателем  $W$ , а итоговая оценка  $S$  может формироваться с учётом позиции и ожиданий целевой аудитории.

Шаблон «Задача» рассматривается как мета-шаблон, допускающий частичное заполнение и адаптацию в зависимости от предметной области (ПрО), уровня управления и характера решаемой задачи. Он обеспечивает единый понятийный и метрический каркас для согласования целей, методов, критериев и интерпретаций между участниками многодисциплинарного коллектива и КСИО.

Важным элементом инструментального ядра КСИО является связка ИСМКШ – БЯМ – промпт. ИСМКШ задаёт онтологическую структуру анализа, промпт формализует предъявление требований шаблона, БЯМ используется как вычислительно-когнитивный интерпретатор – как средство аргументированного выделения смысловых атрибутов.

На рисунке 1 представлена диаграмма, отражающая иерархическую структуру КСИО. Каждый уровень встроен в общую систему через механизмы диалога, адаптации и смыслообразования и выполняет свою функцию.

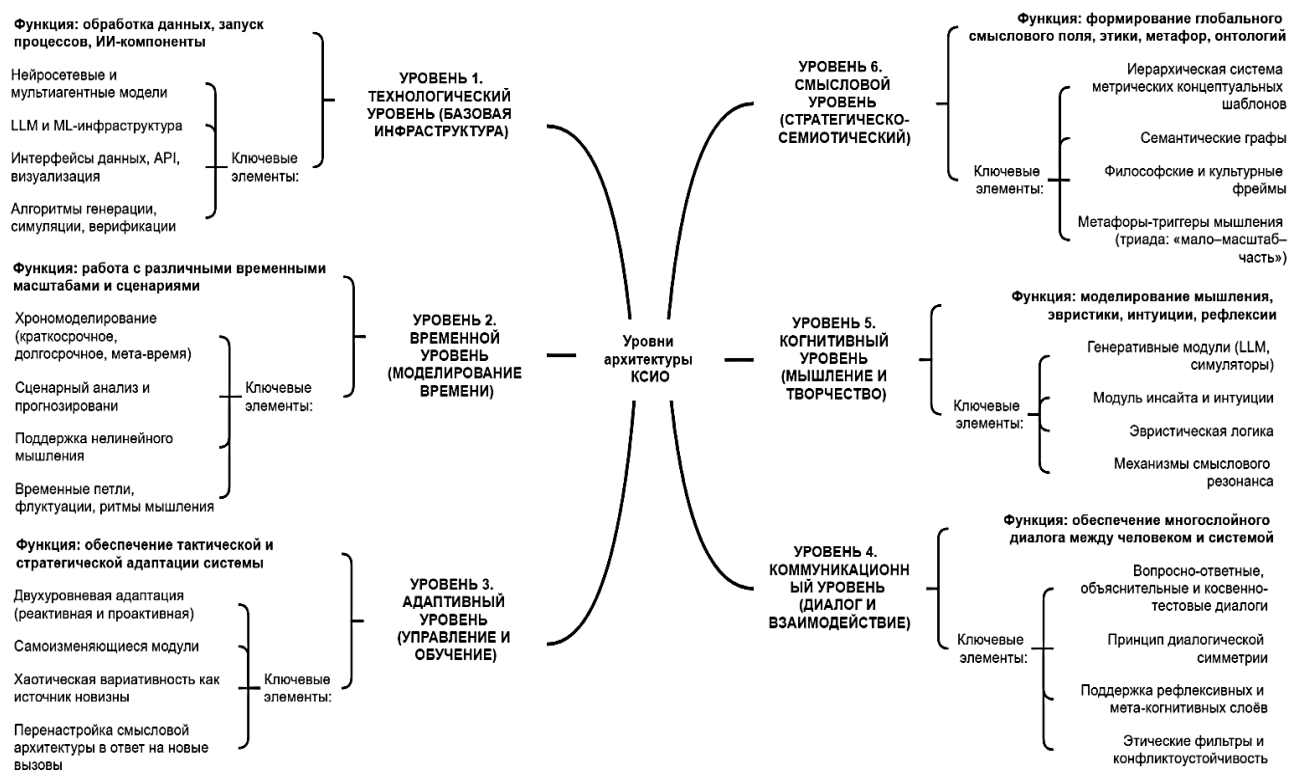


Рисунок 1 – Иерархическая структура когнитивно-смысловой интеллектуальной оболочки (КСИО)

Базовый (технологический) уровень обеспечивает работу ИИ и алгоритмов. Временной уровень управляет сценариями и хрономоделированием. Адаптивный уровень позволяет системе обучаться, перестраиваться и саморазвиваться. Коммуникационный уровень позволяет организовать диалог с пользователем. Когнитивный уровень обеспечивает моделирование мышления, творчества и интуиции. Смысловой уровень задаёт философское, культурное и стратегическое ядро всей архитектуре. КСИО ориентирована на интеграцию технических и гуманитарных форм мышления в едином смысловом пространстве, позволяющем решать частные задачи в их связи со стратегическими целями и ценностными основаниями деятельности многодисциплинарного коллектива.

КСИО проектируется на основе набора *фундаментальных принципов*, определяющих требования к её устойчивости, адаптивности и смысловой глубине в условиях неопределённости, междисциплинарности и этически ответственного взаимодействия с человеком.

*Принцип смысловой комплементарности* обеспечивает согласование понятийных структур, терминов, интерпретаций и ценностных оснований между участниками с различной профессиональной и дисциплинарной подготовкой. Этот принцип осуществляется через ИСМКШ, включающую: общие структурные и метрические

основания описания задач; семантические графы, обеспечивающие установление и анализ связей между понятиями и моделями; коммуникативные и рефлексивные модули, поддерживающие диалоговую корректировку смыслов. В операциональном контуре КСИО ИСМКШ задаёт нормативную структуру согласования, промпты и обеспечивает её предъявление в процессе анализа конкретных информационных объектов, а БЯМ используются для реконструкции смыслов (явных и неявных) с последующей интерпретацией в коммуникативном контуре. В результате формируется смысловое пространство, в котором различные подходы дополняют друг друга.

*Принцип диалогической симметрии и проактивной объяснимости* задаёт требования к организации коммуникации в виде проактивного процесса совместного смыслообразования. КСИО проектируется таким образом, чтобы выявлять потенциальные смысловые разрывы, конфликты интерпретаций и этические дилеммы, возникающие в процессе принятия решений [3]. Реализация данного принципа предполагает использование адаптивных интерфейсов, ориентированных на порождение контрастных и каузальных нарративов, а также модулей концептуального обогащения, фиксирующих эволюцию понимания и интерпретаций в ходе диалога.

*Принцип распределённого интеллекта* ориентирован на многоуровневую когнитивную кооперацию, в контексте которой интеллектуальные ресурсы распределяются между человеком, интеллектуальными модулями и коллективным субъектом деятельности. Под смысловым резонансом понимается взаимодействие когнитивно-семантических контуров, обеспечивающее взаимное усиление и переосмысление частных интерпретаций в коллективном контексте. Такое взаимодействие создаёт условия для проявления творческих эффектов и эмерджентных форм коллективного поведения [13-15].

*Принцип адаптивности* обеспечивает способность изменять функционал КСИО (аналитик, модератор, генератор идей, критик), адаптируясь к контексту и задачам коллектива.

*Принцип устойчивого развития* задаёт требования к обеспечению жизнеспособности, этической ответственности и согласованию технологических, гуманитарных и экологических ограничений. Устойчивое развитие встраивается в КСИО посредством: стратегического хрономоделирования, позволяющего рассматривать решения в различных временных горизонтах и выявлять отложенные эффекты; смыслового прогнозирования, ориентированного на анализ возможных интерпретаций и использования решений в социальном и профессиональном контекстах; контекстуального аудита сценариев с целью проверки согласованности предлагаемых решений с ценностными основаниями, этическими требованиями и ограничениями ПрО.

*Принцип этической ответственности* задаёт требования к гуманитарной рефлексии в процессе принятия решений. Этическая ответственность встраивается в когнитивно-смысловой контур КСИО на уровне формирования, анализа и согласования сценариев действий. Анализ этических аспектов осуществляется через формализованный контур, включающий ценностные и культурные ограничения, сопоставление альтернативных сценариев с этими ограничениями и обоснование допустимости получаемых решений. В качестве инструментальных средств используются: фильтры ценностей, задающие нормативные ограничения допустимых решений; модули оценки допустимости, осуществляющие проверку сценариев на соответствие этическим и культурным требованиям; процедуры этического обоснования, направленные на выявление конфликтов ценностей.

*Принцип диалоговой многослойности* задаёт требования к организации коммуникации в виде многоуровневого диалога, ориентированного на совместное смыслообразование и объяснимость. Диалог в КСИО трактуется как совокупность взаимосвязанных уровней – от кратких вопросно-ответных обменов до развёрнутых объяснительных диалогов, используемых в зависимости от контекста задачи и стадии её осмысления. Принцип осуществляется через использование сценарных диалоговых шаблонов, задающих тип и структуру взаимодействия, и когнитивных настроек, определяющих форму и глубину диалога с учётом роли участника.

Приведённые принципы ориентированы на формирование гибкой и устойчивой когнитивной среды, способной поддерживать человека в условиях концептуальной новизны, смысловой неопределённости и этической сложности.

В КСИО принципы объяснимости нового поколения *XAI 2.0* осуществляются через следующие инструментальные механизмы.

- *Контекстно-зависимые и многоформатные объяснения.* Система адаптирует глубину, форму (текст, семантический граф, нарратив, метафора) и терминологию объяснения в зависимости от роли пользователя (эксперт, менеджер, регулятор), этапа задачи и ПрО.
- *Диалоговая объяснимость.* КСИО поддерживает итеративный диалог-уточнение, позволяя пользователю задавать вопросы типа «почему?», «а что, если?» и «как это соотносится с целью X?», углубляясь в логику решения.
- *Контрастные и каузальные объяснения.* КСИО генерирует объяснения через сравнение: «Решение А было выбрано вместо В, потому что в данном контексте критерий Y имел больший вес, чем критерий Z».
- *Объяснение на основе динамических онтологий.* Смысловые структуры ИСМКШ служат основой для построения объяснений, которые эволюционируют вместе с накоплением опыта и уточнением ценностных рамок.

## 2 Методологическая триада метафор

Методологическая триада метафор задаёт основу для осмысления КСИО (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Обобщённый философско-технологический каркас триады

Метафора	Философская основа	Функциональная реализация
1 «Чтобы достичь большего – надо начать с малого»	Диалектика, синергетика, прагматизм	Инкрементное обучение, микро-смыслы, итеративная архитектура
2 «Чтобы начать с малого – надо объять картину маслом»	Феноменология, системное мышление, гештальт	Многоуровневое планирование, шаблоны, диалоги прогнозирования
3 «Часть больше целого»	Системная философия, теория сложных сетей, когнитивная наука	Интеллектуальный анализ узлов, стратегическая трансформация

Данные метафоры выполняют функцию философско-технологических принципов, которые направляют архитектуру, функционирование и саморазвитие КСИО.

*Метафора 1* указывает на необходимость эволюционного, поэтапного подхода к развитию сложных систем. В КСИО она осуществляется через выделение микро-смыслов – частных задач, смысловых фрагментов и сценариев, через их включение в стратегические структуры, через масштабирование локальных решений на уровень системы. Каждый микро-смысл в КСИО рассматривается как потенциальный катализатор изменений всей структуры – при условии его связи с глобальным смысловым контекстом [16].

Инструментальная реализация в КСИО базируется на когнитивно-смысловом моделировании, обратной связи в режиме реального времени, иерархической системе шаблонов, сценарном прогнозировании с помощью БЯМ и многоагентных моделей, обучении с подкреплением, смысловом резонансе и инкрементной когнитивной сборке.

*Метафора 2* раскрывает принцип целостности как необходимое условие эффективного действия: частное приобретает смысл лишь в контексте общего. Это означает, что каждая операция и каждый модуль должны быть встроены в формализованное представление стратегических целей, приоритетов, ограничений, ключевых понятий, их взаимосвязей и метрик, используемых для согласования локальных решений со стратегией системы [17].

Технологическая реализация в КСИО строится на принципах системного анализа, многоуровневого управления и формализованного согласования решений и включает иерархическую структуру смыслов. В настоящей работе под *смыслом* понимается формализованное представление интерпретации объекта, процесса или решения, зафиксированное в виде совокупности понятий, связей, ограничений и целевых установок, используемых в управлении.

*Метафора 3* является парадоксальной формулой, выражающей феномен эмерджентности, когда отдельная часть системы обладает системообразующим потенциалом. В контексте КСИО это означает, что локальный модуль может изменить архитектуру системы, а частный сценарий способен стать ядром стратегической трансформации. Философская база метафоры опирается на широкий спектр идей от античной мысли до культурно-семиотических и когнитивных теорий [18] и теорий сложных систем [19].

## 3 Формирование и развитие творческих способностей

КСИО предназначена для создания условий формирования и развития творческих способностей индивидуальных участников и коллективных субъектов [20–22]. КСИО совместно с человеком выполняет функции смыслового партнёра, который инициирует альтернативные интерпретации, выявляет противоречия и поддерживает концептуальные сдвиги. Основные механизмы такой интеграции и способы их реализации представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Механизмы поддержки творчества в КСИО

Компонент творческого процесса	Как реализуется в КСИО (механизм)	Инженерная реализация	Результат / эффект
<i>Интуиция</i>	Создание условий для предварительной, недоопределённой интерпретации задачи	Ослабление жёстких ограничений на ранних этапах анализа; генерация альтернативных формулировок задачи; сценарное ветвление	Выявление неочевидных направлений поиска
<i>Эвристика</i>	Управляемый эвристический поиск решений	Наборы эвристических правил, шаблонов рассуждения и эвристических операторов в диалоговом контуре	Ускорение поиска допустимых решений
<i>Инсайт</i>	Реконфигурация смысловых связей	Перестройка когнитивных графов; выявление скрытых связей и противоречий; контрастные сопоставления гипотез	Резкий переход к новым концептуальным решениям
<i>Эмпатия (когнитивная)</i>	Учёт альтернативных точек зрения	Многопозиционный диалог; моделирование ролей участников; переключение перспектив	Повышение полноты и устойчивости решений
<i>Трансцендентное мышление</i>	Выход за рамки текущих интерпретаций	Провокационные вопросы; парадоксальные сценарии; намеренное нарушение привычных рамок	Расширение пространства допустимых идей
<i>Комбинирование идей</i>	Интеграция слабых и сильных гипотез	Смысловая комплементарность; автоматическое сопоставление и скрещивание концептов	Усиление потенциально перспективных идей
<i>Преодоление когнитивного зависания</i>	Восстановление смысловой динамики	Введение альтернативных интерпретаций; реструктуризация когнитивных связей; смена роли системы	Выход из тупиковых состояний мышления
<i>Коллективное творчество</i>	Распределённая генерация и согласование идей	Сеть когнитивных узлов; механизмы согласования через ИСМКШ и диалог	Эмерджентные коллективные решения
<i>Рефлексия и оценка</i>	Осмысление и отбор результатов	Метрики согласованности; обратная связь; трассировка решений	Повышение воспроизводимости и качества
<i>Интеграция в стратегию</i>	Включение идей в архитектуру управления	Каскадные ИСМКШ; сценарное и хрономоделирование	Переход от идеи к реализуемым решениям

КСИО включает механизмы, которые создают пространство генерации новых смыслов и идей и обеспечиваются следующими компонентами:

- *конструктивный хаос*, инициирующий нестабильные и провоцирующие шаблоны мышления;
- *парадоксальные механизмы*, направленные на постановку вопросов, подрывающих исходные когнитивные рамки;
- *модели смысловой фрустрации*, задерживающие очевидные решения ради углубления анализа.

Технологическая реализация КСИО включает использование режимов когнитивной динамики, сочетающих стабильные и дестабилизирующие состояния, направленные на расширение пространства решений и их формализацию. На рисунке 2 представлена архитектура функциональных модулей и режимов когнитивной обработки, используемых в КСИО для формирования и развития творческих способностей в условиях управляемой неопределённости. Здесь используется режим конструктивного хаоса, под которым понимается ограниченный по времени и параметрам режим когнитивной дестабилизации, предназначенный для генерации альтернативных смысловых и проектных конфигураций.

Данный режим характеризуется временным ослаблением жёстких когнитивных и логических ограничений, появлением противоречивых интерпретаций и повышенной чувстви-

тельностью системы к малым изменениям входных данных. В терминах теории динамических систем данный режим соответствует областям повышенной неустойчивости, в которых возможен переход системы на новые траектории развития.



Рисунок 2 – Архитектура функциональных модулей и режимов когнитивной динамики в КСИО

Использование режима конструктивного хаоса в КСИО является контролируемым и обратимым. Генерация хаотических смысловых флуктуаций допускается в рамках заданных ограничений и завершается при достижении формализованных критериев выхода, обеспечивающих восстановление управляемости и интеграцию полученных результатов в архитектуру управления. К таким критериям относятся:

- формирование устойчивых смысловых конфигураций, интерпретируемых в терминах ИСМКШ;
- снижение уровня противоречивости и неопределённости ниже установленных пороговых значений;
- согласование полученных решений со стратегическими целями и метриками системы;
- возможность трассируемого перехода от смысловых конфигураций к локальным сценариям и операционным решениям;
- восстановление устойчивых контуров принятия решений и воспроизводимости результатов.

В научных коллаборациях КСИО способна согласовывать позиции участников, находящихся в разных культурных и концептуальных контекстах. В инженерных проектах она обеспечивает баланс между оптимизацией ресурса и учётом этических и экологических последствий.

В культурных взаимодействиях КСИО становится «переводчиком смыслов» между традициями, обеспечивая ценностное взаимопонимание.

В таблице 3 показана взаимосвязь модулей творческого мышления в КСИО. Каждый модуль отвечает за конкретный способ генерации нового знания, а режимы определяют стиль участия КСИО в творческом процессе. Их сочетания образуют матрицу, где система может стимулировать нестандартные комбинации, провоцировать инсайты, усиливать интуицию или поддерживать философское переосмысление.

#### 4 Механизмы коллективного творчества

В концепции КСИО коллектив рассматривается как распределённая сеть взаимодействующих когнитивных узлов, в которой каждый участник вносит индивидуальные знания, интерпретации и гипотезы. Объединение этих локальных фрагментов в общее когнитивно-смысловое пространство осуществляется через совокупность методологических механизмов, включающих семантическое соотнесение понятий и аргументов, сопоставление идей с целями и контекстами деятельности, согласование интерпретаций в коммуникативном контуре

КСИО. Результатом является формирование когнитивной карты, в которой различные точки зрения сохраняют различимость, но становятся взаимосвязанными.

Таблица 3 – Матрица формирования и развития творческих способностей в КСИО

Модуль → Режим КСИО ↓	Эвристические нетривиальные комбинации	Инсайт	Интуиция	Трансцендентное мышление
<i>Провокатор</i>	Подбирает неожиданные связи между идеями разных областей	Построение парадоксальных метафор	Ставит вопросы, которые интуитивно кажутся важными	Способствует выходу за пределы системы
<i>Навигатор</i>	Предлагает смысловые траектории между концепциями	Выстраивает причинно-смысловые цепочки до «вспышки понимания»	Предлагает направление на основе неполных данных	Связывает текущую задачу с глобальными концепциями
<i>Партнёр</i>	Совместно комбинирует элементы идеи с участником	Помогает проговорить идею до момента «озарения»	Дополняет догадки пользователя предиктивной логикой	Участствует в обсуждении философских гипотез и гипериدهй
<i>Отзеркаливатель</i>	Возвращает нестандартные элементы, которые пользователь ввёл раньше	Резонирует с частично сформулированными мыслями	«Подсвечивает» слабые, «сырые» формулировки и предлагает развитие	Трансформирует логическую структуру высказываний в образно-смысловые конструкции

Когнитивная карта КСИО трактуется как многослойная структура представления идей, в которой узлами выступают гипотезы, аргументы и интерпретации, а связями — отношения влияния, согласования, трансформации и происхождения. Карта включает индивидуальные, групповые и интегральные уровни, позволяя отслеживать эволюцию идей от отдельных предложений к коллективным стратегическим моделям.

Преимственность коллективного творчества обеспечивается за счёт сохранения в карте исходных гипотез с их контекстами и аргументацией в подготовке решений. Стратегические модели формируются путём связывания, переосмысления и укрупнения с возможностью возврата к альтернативным интерпретациям. Функционирование механизмов коллективного творчества возможно с применением комплекса технологий (см. таблицу 4).

Таблица 4 – Механизмы коллективного творчества и обеспечивающие технологии

Механизм	Ключевые технологии	Основные функции
Распределённый интеллект	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Многоагентные системы</li> <li>▪ Децентрализованные базы знаний</li> <li>▪ Алгоритмы коллективного консенсуса и фильтрации</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Моделирование сети участников</li> <li>▪ Интеграция фрагментов знаний</li> <li>▪ Выявление и усиление значимых идей</li> </ul>
Смысловая комплементарность	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Онтологии и семантические сети</li> <li>▪ Нейросемантические модели</li> <li>▪ Концептуальные карты</li> <li>▪ Диалоговые интерфейсы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Перевод между дисциплинарными языками</li> <li>▪ Согласование терминологии</li> <li>▪ Визуализация точек пересечения</li> <li>▪ Поддержка многоуровневых диалогов</li> </ul>
Эмерджентность	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Генеративные модели</li> <li>▪ Имитационное моделирование</li> <li>▪ Алгоритмы эволюционного проектирования</li> <li>▪ Виртуальная и дополненная реальности и когнитивная визуализация</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Порождение новых гипотез и смыслов</li> <li>▪ Проверка идей в виртуальных средах</li> <li>▪ Создание инновационных решений</li> <li>▪ Усиление эффекта совместного открытия</li> </ul>

Технологии распределённого интеллекта позволяют моделировать коллектив как сеть взаимодействующих когнитивных узлов.

Технологии смысловой комплементарности устраняют барьеры междисциплинарного общения. Существенную роль играют диалоговые интерфейсы, которые позволяют вести общение в разных режимах [23-26].

Технологии эмерджентности направлены на порождение новых смыслов, которые несводимы к индивидуальным вкладам участников.

Синтез указанных технологий формирует системную основу для коллективного творчества в КСИО: распределённый интеллект задаёт сетевую организацию; смысловая комплементарность снимает терминологические и когнитивные барьеры; механизмы эмерджентности обеспечивают условия для рождения новых идей и смыслов, выходящих за пределы индивидуальных когнитивных горизонтов.

## 5 Применение в научной, инженерной и образовательной практике

КСИО разрабатывается как практико-ориентированная среда, способная функционировать в условиях высокой смысловой, временной и дисциплинарной сложности. Её архитектура обеспечивает интеграцию технических и гуманитарных компонентов в коллективной деятельности, превращая её в интеллектуальный медиатор между человеком и высокотехнологичной средой.

Современные научные коллаборации всё чаще организуются как междисциплинарные сети, объединяющие специалистов из различных Про. Подобные коллективы сталкиваются с рядом вызовов: различием языков, методов и целей; утратой целостного стратегического контекста; трудностями согласования локальных задач с общими целями<sup>1,2</sup> [27]. КСИО выполняет роль интегративного посредника, способна синхронизировать терминологии, выработать совместную когнитивно-смысловую модель исследуемого объекта и поддерживать её эволюцию в течение жизненного цикла проекта.

В инженерной разработке КСИО, как адаптивная интеллектуальная надстройка, позволяет учитывать техническую строгость, этические ограничения и социально-пользовательский контекст.

В сфере образования и междисциплинарной подготовки КСИО открывает возможности для построения индивидуальных образовательных траекторий, организации адаптивного диалога обучающегося с системой и интеграции научных, культурных и философских знаний в единое когнитивное пространство. КСИО становится средой, в которой обучающиеся могут самостоятельно конструировать свои образовательные маршруты в зависимости от стиля мышления и индивидуальных целей.

В области стратегического управления и принятия решений КСИО может функционировать как интеллектуальный партнёр, способный работать в условиях высокой неопределённости, конфликтующих интересов и технологических изменений. Используются генеративные языковые модели, диалоговые интерфейсы, нейросетевые предиктивные системы и динамически корректируемые ИСМКШ.

Особенностью КСИО является способность к онтологической и культурной адаптации. В таблице 5 представлено применение КСИО в научной, инженерной и междисциплинарной практиках.

<sup>1</sup> CERN Projects. CERN, 2025. <https://cerneu.web.cern.ch/projects-cern>.

<sup>2</sup> Human Brain Project ends: what has been achieved? Human Brain Project, 2023. <https://www.humanbrainproject.eu/en/follow-hbp/news/2023/09/28/human-brain-project-ends-what-has-been-achieved/>.

Таблица 5 – Применение КСИО в различных практиках

Сфера применения	Функции КСИО	Примеры использования
Научная практика	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Формирование исследовательских вопросов и гипотез</li> <li>▪ Интеграция знаний из разных областей</li> <li>▪ Интерпретация и переосмысление данных</li> <li>▪ Поддержка философской рефлексии науки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Создание междисциплинарных моделей в биоинформатике</li> <li>▪ Диалог с исследователем для уточнения гипотез</li> <li>▪ Концептуализация новых парадигм</li> </ul>
Инженерная практика	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Генерация нестандартных решений</li> <li>▪ Системное проектирование</li> <li>▪ Интеграция технических и гуманитарных аспектов</li> <li>▪ Моделирование и проверка идей</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Проектирование интерфейсов «человек–машина» с учётом культурных факторов</li> <li>▪ Создание виртуальных полигонов</li> <li>▪ Разработка инновационных архитектурных решений</li> </ul>
Междисциплинарная практика	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Построение коллективных смысловых карт</li> <li>▪ Обеспечение диалога между разными дисциплинами</li> <li>▪ Поддержка долгосрочного сотрудничества</li> <li>▪ Создание новых интегративных парадигм</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Экотехнологии: объединение данных экологии, инженерии и гуманитарных наук</li> <li>▪ Междисциплинарные исследования в области искусственного интеллекта</li> <li>▪ Культурно-технологические проекты</li> </ul>

## Заключение

В статье показано, что реализация КСИО создаёт возможности для:

- объединения когнитивных, этических и инженерных компонентов в единой архитектуре управления;
- использования формализованной методологической логики перехода от локальных действий и решений к глобальным представлениям и к интегральным системным моделям;
- развития творческих способностей участников за счёт поддерживаемых механизмов генерации, согласования и переработки идей;
- проявления двухуровневой адаптивности, включающей оперативную адаптацию к текущим изменениям условий и задач и стратегическую адаптацию, связанную с перестройкой собственной архитектуры и смысловых оснований;
- применения в различных контекстах – от научных коллабораций и инженерного проектирования до стратегического управления и сопровождения интеллектуальных систем.

Адаптивность КСИО реализуется в её трёхуровневой архитектуре, что обеспечивает согласование реактивных и рефлексивных механизмов управления. Вычислительный уровень отвечает за обработку данных и выполнение алгоритмов; когнитивный уровень – за формирование, согласование и перестройку когнитивных паттернов; семантический уровень – за работу с целями, ценностями и смысловыми основаниями системы.

Представленная архитектура КСИО соответствует ключевым требованиям объяснимого ИИ (ХАИ 2.0). Её трёхуровневая структура обеспечивает:

- глубинную объяснимость, реализуемую как переход от причинно-следственных зависимостей на вычислительном уровне через когнитивные паттерны на среднем уровне к ценностно-смысловым обоснованиям на семантическом уровне;
- коллективную и социальную приемлемость, достигаемую за счёт механизмов смысловой комплементарности и распределённого интеллекта, позволяющих формировать объяснения, понятные для разнородных групп участников;
- адаптивность объяснений, как способность системы изменять роли участников и стиль коммуникации в зависимости от стадии проекта и контекста взаимодействия.

КСИО может рассматриваться как методологическая платформа для создания систем ХАИ 2.0, в которых доверие к ИИ формируется на основе прозрачного, конструктивного и смысло-ориентированного диалога между человеком и машиной [27, 28].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Young G.O.** Synthetic structure of industrial plastics (book style with paper title and editor). *Plastics*. 2nd ed. Vol.3 / Ed. J. Peters. New York: McGraw-Hill, 1964. P.15–64.
- [2] **Vaccaro M., Almaatouq A., Malone T.** When combinations of humans and AI are useful: A systematic review and meta-analysis. *Nat. Hum. Behav.* 2024. Vol.8. P.2293–2303. DOI: 10.1038/s41562-024-02024-1.
- [3] **Longo Luca; et al.** Explainable Artificial Intelligence (XAI) 2.0: A manifesto of open challenges and interdisciplinary research directions. *Information Fusion*. 2024. 106. DOI: 10.1016/j.inffus.2024.102301.
- [4] **Dolgikh S.** The trap of presumed equivalence: Artificial General Intelligence should not be assessed on the scale of human intelligence. *Discov. Artif. Intell.* 2025. Vol.5. P.70. DOI: 10.1007/s44163-025-00317-6.
- [5] **Файзуллаева И.Г.** Влияние искусственного интеллекта на жизнь человека. *Academic Research in Educational Sciences*. 2024. № 5, С.520-538.
- [6] **Gupta S., Modgil S., Bhattacharyya S., et al.** Artificial intelligence for decision support systems in the field of operations research: Review and future scope of research. *Ann. Oper. Res.* 2022. Vol.308. P.215–274. DOI: 10.1007/s10479-020-03856-6.
- [7] **Савин С.В., Мурзин А.Д.** Системы поддержки принятия решений на базе искусственного интеллекта: интеграция, адаптация и оценка эффективности. *Экономика и управление*. 2024. №12, С.1521-1534.
- [8] **Ао С.-И., Hurwitz M., Palade V.** Cognitive Computing and Business Intelligence Applications in Accounting, Finance and Management. *Big Data Cogn. Comput.* 2025. Vol.9, no.3. P.54. DOI: 10.3390/bdce9030054.
- [9] **Kapetanidou I.A., Nizamis A., Karanastasis E., et al.** Cognitive Computing Continuum: State-of-the-Art Review and ENACT Vision & Approach. *J. Grid Comput.* 2025. Vol.23. Art.23. DOI: 10.1007/s10723-025-09810-9.
- [10] **Orynbay L., Bekmanova G., Yergesh B., Omarbekova A., Sairanbekova A., Sharipbay A.** The role of cognitive computing in NLP. *Front. Comput. Sci.* 2025; 6:1486581. P.1-17. DOI: 10.3389/fcomp.2024.1486581
- [11] **Аверкин А.Н., Волков Е.Н., Ярушев С.А.** Большие языковые модели в гибридных интеллектуальных медицинских системах. *Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте (ИММВ-2024)*: сб. науч. трудов XII Междунар. науч.-практ. конф., Коломна, 14–17 мая 2024 г. В 2 т. Смоленск: Универсум, 2024. С.237–245. EDN: FQVOVD.
- [12] **Миловидова А.А.** Хрономодель процесса переработки в условиях нечёткой и неполной информации о качестве сырья. *Перспективы науки*. 2019. № 6(117). С.25–28. EDN: ZSTOUD.
- [13] **Зайцев Е. И., Нурматова Е. В.** О подходе к управлению знаниями и разработке мультиагентной системы представления и обработки знаний. *Russian Technological Journal*. 2023. Т.11, №4. С.16–25. DOI: 10.32362/2500-316X-2023-11-4-16-25. EDN: PKAAAX.
- [14] **Добрынин В.Н., Эндерев В.А., Миловидова А.А.** Многоагентное имитационно-событийное моделирование управления качеством дискретно-непрерывных технологических процессов: проблемы, концепция, задачи, методы. *Системный анализ в науке и образовании*. 2014. Вып.1. С.1–26.
- [15] **Halpin H.** Artificial intelligence versus collective intelligence. *AI Soc.* 2025. DOI: 10.1007/s00146-025-02240-x.
- [16] **Князева Е.Н.** Между временем и вечностью: С.П. Курдюмов о темпоральных свойствах сложных структур. *Труды Объединенного научного центра проблем космического мышления*. 2007. Вып.1. С.45–64.
- [17] **Lakoff G., Johnson M.** *Metaphors We Live By*. Chicago: University of Chicago Press, 2008. 242 p.
- [18] **Князева Е.Н.** Figures of Time in Evolution of Complex Systems. *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie*. 2005. Vol.36(2). P.289–304. DOI: 10.1007/s10838-005-9003-0.
- [19] **Еськов В.В., Филатова О.Е., Гудкова С.А., Джумагалиева Л.Б.** Насколько близко И.Р. Пригожин, Н. Накен и С.П. Курдюмов подошли к пониманию неизбежности ТХС? *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2013. №4, С.28-34.
- [20] **Wienkamp H.** Intelligence Research and Intelligence Models. In: *Creativity Diagnostics*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2025. P.3-10. DOI: 10.1007/978-3-662-70432-5\_2.
- [21] **Orbik Z.** Husserl’s concept of transcendental consciousness and the problem of AI consciousness. *Phenom. Cogn. Sci.* 2024. Vol. 23. P.1151–1170. DOI: 10.1007/s11097-024-09993-8.
- [22] **Hegde K., Jayalath H.** Emotions in the Loop: A Survey of Affective Computing for Emotional Support // arXiv preprint. 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2505.01542>.
- [23] **Цветков В.Я., Курдюков Н.С.** Информационное онтологическое моделирование. *Russian Technological Journal*. 2025. Т.13, № 2. С.18–26. DOI: 10.32362/2500-316X-2025-13-2-18-26. EDN: PJVWFG.
- [24] **Osman N.** Value-Aware Multiagent Systems. *Coordination, Organizations, Institutions, Norms, and Ethics for Governance of Multi-Agent Systems XVII (COINE 2024)* / Eds. S. Cranefield, L. G. Nardin, N. Lloyd. Cham: Springer, 2025. Vol. 15398. P.33–46. DOI: 10.1007/978-3-031-82039-7\_3.
- [25] **Vorel R.** Autonomous Multiagent Systems. *NoOps*. Berkeley, CA: Apress, 2025. P.183-195. DOI: 10.1007/979-8-8688-1694-9\_10,

- [26] **Edelkamp S.** Multiagent Systems. *Algorithmic Intelligence*. Cham: Springer, 2023. P.297–308. DOI: 10.1007/978-3-319-65596-3\_16,
- [27] **Аверкин А.Н.** Объяснимый искусственный интеллект ХАИ 2.0: манифест открытых задач и междисциплинарных направлений. *Речевые технологии*. 2025. № 1. С.3-8.
- [28] **Аверкин А.Н., Волков Е.Н.** Объяснительный ИИ 2.0: концептуальные сдвиги и новые требования. *XXVIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2025)*. Сборник докладов. Санкт-Петербург. 28 – 30 мая 2025 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С.215-218.
- 

## Сведения об авторах



**Аверкин Алексей Николаевич**, 1949 г. рождения. Окончил МГУ им. М.В. Ломоносова в 1971 г., к.ф.-м.н. (1985). Доцент кафедры информатики Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, руководитель Центра искусственного интеллекта Государственного университета «Дубна». Член Научного совета Российской ассоциации ИИ (РАИИ), вице-президент Российской ассоциации нечётких систем и мягких вычислений. В списке научных трудов более 200 работ в области ИИ, нечётких систем и мягких вычислений. Author ID (РИНЦ): 1896; SPIN-код:

5787-6138; Author ID (Scopus): 57192557075; ORCID: 0000-0003-1571-3583; Researcher ID (WoS): L-6541-2013. [averkin2003@inbox.ru](mailto:averkin2003@inbox.ru).

**Добрынин Владимир Николаевич**, 1940 г. рождения. Окончил механико-математический факультет Харьковского государственного университета в 1965 г., к.т.н. (1984). Профессор кафедры системного анализа и управления Института системного анализа и управления Государственного университета «Дубна». В списке научных трудов около 90 работ. Author ID (РИНЦ): 541833; Author ID (Scopus): 56004991500. [arbatsolo@yandex.ru](mailto:arbatsolo@yandex.ru).



**Миловидова Анна Александровна**, 1987 г. рождения. Окончила магистратуру Международного университета природы, общества и человека «Дубна» в 2011 г., к.т.н. (2021). Доцент кафедры системного анализа и управления Института системного анализа и управления Государственного университета «Дубна», доцент кафедры цифровой трансформации Института информационных технологий МИРЭА – Российский технологический университет. Член РАИИ. В списке научных трудов более 50 работ в области имитационного моделирования, нечёткой логики, создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений. ORCID: 0000-0002-6646-4508; Author ID (РИНЦ): 1052443; Author ID (Scopus): 56509476100.

[milanna@uni-dubna.ru](mailto:milanna@uni-dubna.ru). ✉

---

Поступила в редакцию 15 декабря 2025 г., после рецензирования 18.02.2026. Принята к публикации 10.03.2026.

---



## Integration of control loops in the multilevel architecture of digital systems

© 2026, A.N. Averkin<sup>1</sup>, V.N. Dobrynin<sup>1</sup>, A.A. Milovidova<sup>1,2</sup>✉

<sup>1</sup> Dubna State University, Dubna, Russia

<sup>2</sup> MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

### Abstract

Multilevel digital control systems are characterized by high structural complexity, dynamic behavior, and heterogeneous decision-making loops. Existing approaches demonstrate insufficient formalization of decision alignment across system levels under conditions of uncertainty. The aim of this study is to develop a formalized three-level control architecture based on cognitive-semantic integration. The study employs systems analysis, cognitive modeling, ontological design, and hybrid artificial intelligence technologies. An architectural model is proposed that integrates semantic, cognitive, and computational levels within a unified control loop, where the computational level is treated as a subordinate operational mechanism for implementing semantic and cognitive structures. It is demonstrated that the proposed architecture ensures alignment of managerial decisions, reduces conflicts between control levels, and improves system adaptability. The novelty of the study lies in the formalization of the principles of interlevel coordination and self-learning in multilevel control systems. The practical significance of the work is associated with the potential application of the proposed architecture in the development of intelligent platforms and decision-support systems.

**Keywords:** *cognitive architecture, cognitive-semantic integration, digital systems, control, adaptability, cognitive modeling.*

**For citation:** Averkin A.N., Dobrynin V.N., Milovidova A.A. Integration of control loops in the multilevel architecture of digital systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2026; 16(2): 189-203. DOI: 10.18287/2223-9537-2026-16-2-189-203.

**Financial Support:** The research was carried out within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme no. 124112200072-2).

**Authors' contributions:** Averkin A.N. – development of the article structure and selection of source; Dobrynin V.N. – theoretical justification and preparation of examples; Milovidova A.A. – formulation of the research concept, development of methodology, analysis of results.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

### List of figures and tables

Figure 1 – Hierarchical structure of the cognitive-semantic intelligent shell (CSIS)

Figure 2 – Architecture of functional modules and modes of cognitive dynamics in the CSIS

Table 1 – Generalized philosophical and technological framework of the triad

Table 2 – Mechanisms for supporting creativity within the CSIS

Table 3 – Matrix for the formation and development of creative abilities within the CSIS

Table 4 – Mechanisms of collective creativity and supporting technologies

Table 5 – Applications of the CSIS in various practices

### References

- [1] Young GO. Synthetic structure of industrial plastics (book style with paper title and editor). *Plastics*. 2nd ed. Vol.3 / Ed. J. Peters. New York: McGraw-Hill, 1964. P.15–64.
- [2] Vaccaro M, Almaatouq A, Malone T. When combinations of humans and AI are useful: A systematic review and meta-analysis. *Nat. Hum. Behav.* 2024; 8: 2293–2303. DOI: 10.1038/s41562-024-02024-1.

- [3] **Longo L. et al.** Explainable Artificial Intelligence (XAI) 2.0: A manifesto of open challenges and interdisciplinary research directions. *Information Fusion*. 2024; 106. DOI:10.1016/j.inffus.2024.102301.
- [4] **Dolgikh S.** The trap of presumed equivalence: Artificial General Intelligence should not be assessed on the scale of human intelligence. *Discov. Artif. Intell.* 2025; 5: 70. DOI: 10.1007/s44163-025-00317-6.
- [5] **Fayzullaeva IG.** The impact of artificial intelligence on human life [In Russian]. *Academic Research in Educational Sciences*. 2024; 5: 520-538.
- [6] **Gupta S, Modgil S, Bhattacharyya S, et al.** Artificial intelligence for decision support systems in the field of operations research: Review and future scope of research. *Ann. Oper. Res.* 2022; 308: 215–274. DOI: 10.1007/s10479-020-03856-6.
- [7] **Savin SV, Murzin AD.** Artificial intelligence-based decision support systems: Integration, adaptation, and performance evaluation [In Russian]. *Economics and Management*. 2024; 12: 1521-1534.
- [8] **Ao S-I, Hurwitz M, Palade V.** Cognitive computing and business intelligence applications in accounting, finance and management. *Big Data Cogn. Comput.* 2025; 9(3): 54. DOI: 10.3390/bdcc9030054.
- [9] **Kapetanidou IA, Nizamis A, Karanastasis E, et al.** Cognitive computing continuum: State-of-the-art review and ENACT vision & approach. *J. Grid Comput.* 2025; 23. Art. 23. DOI: 10.1007/s10723-025-09810-9.
- [10] **Orynbay L, Bekmanova G, Yergesh B, Omarbekova A, Sairanbekova A** and Sharipbay A (2025) The role of cognitive computing in NLP. *Front. Comput. Sci.* 6:1486581. doi: 10.3389/fcomp.2024.1486581, P. 1-17.
- [11] **Averkin AN, Volkov EN, Yarushev SA.** Large language models in hybrid intelligent medical systems [In Russian]. *Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence (IMMV-2024)*: Proc. 12th Int. Sci. and Pract. Conf., Kolomna, 14–17 May 2024. In 2 vols. Smolensk: Universum, 2024. P.237–245. EDN: FQVOVD.
- [12] **Milovidova AA.** Production Process Chronological Model in Conditions of Fuzzy and Incomplete Information about the Quality of Raw Materials [In Russian]. *Prospects of Science*. 2019; 6(117): 25–28. EDN: ZSTOUD.
- [13] **Zaitsev EI, Nurmatova EV.** Approach to knowledge management and the development of a multi-agent knowledge representation and processing system [In Russian]. *Russian Technological Journal*. 2023; 11(4): 16–25. DOI: 10.32362/2500-316X-2023-11-4-16-25. EDN: PKAAAX.
- [14] **Dobrynin VN, Enderev VA, Milovidova AA.** Multi-agent imitative event simulation of discrete and continuous technological processes quality management: problems, concept, tasks, methods [In Russian]. *System Analysis in Science and Education*. 2014; 1: 1–26.
- [15] **Halpin H.** Artificial intelligence versus collective intelligence. *AI Soc.* 2025. DOI: 10.1007/s00146-025-02240-x.
- [16] **Knyazeva EN.** Between time and eternity: S.P. Kurdyumov on the temporal properties of complex structures [In Russian]. *Proceedings of the Joint Scientific Center for Problems of Cosmic Thinking*. 2007; 1: 45–64.
- [17] **Lakoff G., Johnson M.** *Metaphors We Live By*. Chicago: University of Chicago Press, 2008: 242 p.
- [18] **Knyazeva H.** Figures of time in evolution of complex systems. *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie*. 2005; 36(2): 289–304. DOI: 10.1007/s10838-005-9003-0.
- [19] **Eskov VV, Filatova OE, Gudkova SA, Dzhumagalieva LB.** How close I.R. Prigogine, H. Hacken and S.P. Kurdyumov approached to understanding of inevitability of TCS? [In Russian]. *Complexity. Mind. Post-nonclassics*. 2013; 4: 28-34.
- [20] **Wienkamp H.** Intelligence research and intelligence models. *Creativity Diagnostics*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2025. P.3-10. DOI: 10.1007/978-3-662-70432-5\_2.
- [21] **Orbik Z.** Husserl’s concept of transcendental consciousness and the problem of AI consciousness. *Phenom. Cogn. Sci.* 2024; 23: 1151–1170. DOI: 10.1007/s11097-024-09993-8.
- [22] **Hegde K, Jayalath H.** Emotions in the loop: A survey of affective computing for emotional support // arXiv preprint. 2025. [Online]. <https://arxiv.org/abs/2505.01542>.
- [23] **Tsvetkov VYa, Kurdyukov NS.** Information ontological modeling [In Russian]. *Russian Technological Journal*. 2025; 13(2): 18–26. DOI: 10.32362/2500-316X-2025-13-2-18-26. EDN: PJVWFG.
- [24] **Osman N.** Value-aware multiagent systems. *Coordination, Organizations, Institutions, Norms, and Ethics for Governance of Multi-Agent Systems XVII (COINE 2024)* / Eds. S. Cranefield, L.G. Nardin, N. Lloyd. Cham: Springer, 2025; 15398: 33–46. DOI: 10.1007/978-3-031-82039-7\_3.
- [25] **Vorel R.** Autonomous multiagent systems. *NoOps*. Berkeley, CA: Apress, 2025. P.183-195. DOI: 10.1007/979-8-8688-1694-9\_10.
- [26] **Edelkamp S.** Multiagent systems. *Algorithmic Intelligence*. Cham: Springer, 2023. P.297–308. DOI: 10.1007/978-3-319-65596-3\_16.
- [27] **Averkin AN.** Explicable artificial intelligence XAI 2.0: a manifesto of open tasks and interdisciplinary directions [In Russian]. *Speech technology*. 2025; 1: 3-8.
- [28] **Averkin AN, Volkov EN.** Explanatory AI 2.0: conceptual shifts and new requirements [In Russian]. *XXVIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM-2025)*. Collection of reports. St. Petersburg. May 28 – 30, 2025. St. Petersburg: St. Petersburg State Technical University "LETI". P.215-218.

## About the authors

**Alexey Nikolaevich Averkin** (b. 1949) graduated from Lomonosov Moscow State University in 1971, Candidate of Physical and Mathematical Sciences (1985). He is an Associate Professor at the Department of Informatics of Plekhanov Russian University of Economics, a Leading Researcher at the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, and Head of the Artificial Intelligence Center at Dubna State University. He is a member of the Scientific Council of the Russian Association for Artificial Intelligence and Vice-President of the Russian Association of Fuzzy Systems and Soft Computing. He is the author and a co-author of more than 200 publications in the fields of artificial intelligence, fuzzy systems, and soft computing. Author ID (RSCI): 1896; SPIN code: 5787-6138; Author ID (Scopus): 57192557075; ORCID: 0000-0003-1571-3583; Researcher ID (WoS): L-6541-2013. [averkin2003@inbox.ru](mailto:averkin2003@inbox.ru)

**Vladimir Nikolaevich Dobrynin** (b. 1940) graduated from the Faculty of Mechanics and Mathematics of Kharkov State University in 1965, Candidate of Technical Sciences (1984). He is a Professor at the Department of Systems Analysis and Control of the Institute of Systems Analysis and Management at Dubna State University. He is the author and a co-author of about 90 scientific publications. Author ID (RSCI): 541833; Author ID (Scopus): 56004991500. [arbatso-lo@yandex.ru](mailto:arbatso-lo@yandex.ru).

**Anna Aleksandrovna Milovidova** (b. 1987) graduated from the International University of Nature, Society and Man "Dubna" with a Master's degree in 2011, Candidate of Technical Sciences (2021). She is an Associate Professor at the Department of Systems Analysis and Control of the Institute of Systems Analysis and Management at Dubna State University, and an Associate Professor at the Department of Digital Transformation of the Institute of Information Technologies at MIREA – Russian Technological University. She is a member of the Russian Association for Artificial Intelligence. She is the author and a co-author of more than 50 publications in the fields of simulation modeling, fuzzy logic, and the development of intelligent decision support systems. ORCID: 0000-0002-6646-4508; Author ID (RSCI): 1052443; Author ID (Scopus): 56509476100. [milanna@uni-dubna.ru](mailto:milanna@uni-dubna.ru) ✉.

---

*Received December 15, 2025. Revised February 18, 2026. Accepted March 10, 2026.*

---