



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-40-51>

Оригинальная статья  
*Original paper*

УДК 004.8

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В. В. ГОЛЕНКОВ, Н. А. ГУЛЯКИНА, Д. В. ШУНКЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 22.12.2023*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

**Аннотация.** Рассмотрены основные методологические проблемы и стратегические цели работ по созданию теории и технологии интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Исследованы проблемы современного состояния работ в области искусственного интеллекта и их причины, обоснована необходимость перехода к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения. Приведены основные принципы, лежащие в основе таких систем, а также соответствующей им комплексной технологии. Обоснован переход от локальной автоматизации при решении частных задач к комплексной автоматизации различных областей человеческой деятельности. Предложена концепция экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем, являющаяся основой для комплексной автоматизации. Рассмотрены архитектура экосистемы, направления ее эволюции, классы систем, входящих в экосистему.

**Ключевые слова:** технология, искусственный интеллект, онтология, интеллектуальная система, обучаемость, интероперабельность, гибридность, технология OSTIS.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Голенков, В. В. Методологические проблемы и стратегические цели работ по созданию теории и технологии интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 1. С. 40–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-40-51>.

## METHODOLOGICAL PROBLEMS AND STRATEGIC GOALS OF THE WORK ON CREATION OF THE THEORY AND TECHNOLOGY OF NEW GENERATION INTELLIGENT COMPUTER SYSTEMS

VLADIMIR V. GOLENKOV, NATALIA A. GULIAKINA, DANIIL V. SHUNKEVICH

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 22.12.2023*

**Abstract.** The main methodological problems and strategic goals of work on creating the theory and technology of intelligent computer systems of a new generation are considered. The problems of the current state of work in the field of artificial intelligence and their causes are studied, and the need for a transition to a new generation of intelligent computer systems is substantiated. The basic principles underlying such systems, as well as the corresponding complex technology, are presented. The transition from local automation when solving particular problems to complex automation of various areas of human activity is justified. The concept of an ecosystem of interoperable

intelligent computer systems is proposed, which is the basis for complex automation. The architecture of the ecosystem, the directions of its evolution, and the classes of systems included in the ecosystem are considered.

**Keywords:** technology, artificial intelligence, ontology, intelligent system, learnability, interoperability, hybridization, OSTIS technology.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Golenkov V. V., Guliakina N. A., Shunkevich D. V. (2024) Methodological Problems and Strategic Goals of the Work on Creation of the Theory and Technology of New Generation Intelligent Computer Systems. *Digital Transformation*. 30 (1), 40–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-40-51> (in Russian).

## Введение

Основной целью исследований авторов являлся ответ на вопросы: почему следующий этап информатизации требует создания интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующего им технологического комплекса; в чем заключается принципиальное отличие современных интеллектуальных компьютерных систем от интеллектуальных компьютерных систем следующего (нового) поколения; в чем заключается принципиальное отличие современных технологий искусственного интеллекта от комплекса технологий, соответствующих интеллектуальным компьютерным системам нового поколения; почему необходим комплексный межотраслевой подход к информатизации различных видов и областей человеческой деятельности?

Если кратко охарактеризовать текущее состояние работ в области искусственного интеллекта, то это иллюзия благополучия. Происходит активное локальное развитие самых различных направлений искусственного интеллекта (неклассические логики, формальные онтологии, искусственные нейронные сети, машинное обучение, мягкие вычисления, многоагентные системы и др.), но комплексного повышения уровня интеллекта современных интеллектуальных компьютерных систем нет. Для этого требуются сближение и интеграция всех направлений искусственного интеллекта и соответствующее построение общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем, а также превращение современного многообразия инструментальных средств (frameworks) разработки различных компонентов интеллектуальных компьютерных систем в единую технологию комплексного проектирования и поддержки жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем, гарантирующую совместимость всех разрабатываемых компонентов интеллектуальных компьютерных систем, а также совместимость этих систем как самостоятельных субъектов (агентов, акторов), взаимодействующих между собой в рамках комплексных систем автоматизации сложных видов коллективной человеческой деятельности (умных домов, умных больниц, умных школ, умных производственных предприятий, умных городов и т. д.).

## Методологические проблемы текущего состояния работ в области искусственного интеллекта

- Отсутствует общая формальная теория интеллектуальных компьютерных систем (отсутствует конвергенция (сближение) и интеграция различных направлений искусственного интеллекта).
- Отсутствуют унификация и стандартизация интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем.
- Отсутствует комплексная технология проектирования, производства и модернизации интеллектуальных компьютерных систем.
- Отсутствует кадровый потенциал, необходимый для создания общей теории интеллектуальных компьютерных систем и комплексной технологии их проектирования, производства и модернизации.
- У современных специалистов в области искусственного интеллекта отсутствует необходимый уровень интероперабельности и мотивации к конвергенции и интеграции различных направлений искусственного интеллекта.

### **Ключевая причина современных проблем в области искусственного интеллекта**

Ключевой причиной методологических проблем современного состояния искусственного интеллекта и серьезным вызовом для специалистов в этой области является информационный кризис текущего (современного) этапа эволюции человеческого общества, обусловленный многообразием языков и форм, используемых для представления знаний и, в частности, навыков, накапливаемых обществом. Такое многообразие существенно затрудняет интеграцию, конвергенцию, систематизацию, стратификацию и, как следствие, компьютерную (автоматическую) обработку этих знаний, которое преследует нас на уровнях:

- внутренней организации решения задач в интеллектуальной компьютерной системе;
- взаимодействия интеллектуальных компьютерных систем как между собой, так и с пользователями;
- взаимодействия ученых, работающих в области искусственного интеллекта, что препятствует созданию общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем, а также технологии комплексного проектирования и поддержки всего жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем;
- взаимодействия между учеными, инженерами, разрабатывающими прикладные интеллектуальные компьютерные системы, преподавателями вузов, которые готовят специалистов в области искусственного интеллекта, а также студентами, магистрантами и аспирантами.

### **Направления решения современных проблем в области искусственного интеллекта**

Для решения указанных методологических проблем предлагаются следующие направления.

- Переход к созданию совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, ориентированных на индивидуальное и коллективное (совместное) решение комплексных задач, требующих использования различных моделей и методов в непредсказуемых комбинациях, что нужно для существенного расширения сфер применения интеллектуальных компьютерных систем, для перехода от автоматизации локальных видов и областей человеческой деятельности к комплексной автоматизации более крупных (объединенных) видов и областей этой деятельности.
- Разработка общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.
- Разработка технологии комплексной поддержки жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, которая включает в себя поддержку проектирования этих систем (как начального этапа их жизненного цикла) и обеспечение их совместимости на всех этапах жизненного цикла.
- Конвергенция и унификация интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и их компонентов.
- Реализация бесшовной, диффузной, взаимопроникающей глубокой интеграции семантически смежных компонентов интеллектуальных компьютерных систем, т. е. интеграция, при которой отсутствуют четкие границы (швы) интегрируемых (соединяемых) компонентов, которая может осуществляться автоматически.
- Соблюдение принципа бритвы Оккама – максимально возможное структурное упрощение интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, исключение эклектичных решений.
- Ориентация на потенциально универсальные (т. е. способные быстро приобретать любые знания и навыки), синергетические интеллектуальные компьютерные системы с сильным интеллектом.

### **Ключевой фактор решения современных проблем в области искусственного интеллекта**

Следует особо подчеркнуть, что ключевым фактором решения рассматриваемых методологических проблем в области искусственного интеллекта являются различные направления конвергенции и интеграции, обеспечивающие переход к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения и соответствующей технологии комплексной поддержки их жизненного цикла. Для решения этих задач необходимы конвергенция и интеграция:

- различных моделей представления и обработки информации в интеллектуальных компьютерных системах нового поколения;
- разных видов знаний в базах знаний интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;
- всевозможных моделей решения задач;
- разных видов интерфейсов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;
- различных направлений искусственного интеллекта в целях построения общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;
- технологий проектирования различных компонентов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения в целях построения комплексной технологии их проектирования;
- технологий поддержки различных этапов жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем нового поколения в целях построения технологии комплексной поддержки всех этапов их жизненного цикла;
- различных видов человеческой деятельности в области искусственного интеллекта (научно-исследовательской деятельности, развития технологического комплекса, прикладной инженерии, образовательной деятельности) для повышения уровня согласованности и координации этих видов деятельности, а также для повышения уровня их комплексной автоматизации с помощью семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;
- самых разных видов и областей человеческой деятельности, средств комплексной автоматизации этой деятельности с помощью интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

### **Требования, предъявляемые к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения**

К интеллектуальным компьютерным системам нового поколения должны предъявляться высокие требования уровня:

- обучаемости;
- гибридности;
- решения интеллектуальных задач (т. е. задач, методы решения которых и/или требуемая для их решения исходная информация априори неизвестны);
- интероперабельности;
- синергии.

Высокий уровень обучаемости обеспечивается:

- гибкостью информации, хранимой в памяти интеллектуальной системы;
- качеством стратификации информации, хранимой в памяти интеллектуальной системы (стратифицированностью базы знаний);
- рефлексивностью интеллектуальной системы;
- способностью исправлять свои ошибки (в том числе устранять противоречия в своей базе знаний);
- познавательной активностью;
- отсутствием ограничений на вид приобретаемых знаний и навыков (отсутствие таких ограничений означает потенциальную универсальность интеллектуальной системы).

Под гибридностью следует понимать степень многообразия используемых видов знаний и моделей решения задач и уровень эффективности их совместного использования, а также индивидуальную способность решать комплексные задачи, требующие применения различных видов знаний и комбинаций разных моделей их решения. Надлежащий уровень гибридности обеспечивается:

- высокой степенью многообразия используемых видов знаний и моделей решения задач;
- высокой степенью конвергенции и глубокой интеграцией (степенью взаимопроникновения) различных видов знаний и моделей решения задач;
- способностью неограниченно расширять уровень своей гибридности.

Под интероперабельностью понимается:

- способность к эффективному (целенаправленному) взаимодействию с другими самостоятельными субъектами;

- способность к партнерскому взаимодействию в решении комплексных задач, требующих коллективной деятельности;
- способность работать в коллективе (в команде);
- уровень социализации;
- social skills.

Интероперабельность обеспечивается:

• взаимопониманием, которое, в свою очередь, обеспечивается высоким уровнем семантической совместимости заданного субъекта с другими субъектами заданного коллектива, способностью понятно и обоснованно формулировать свои предложения и информацию, полезную для решения текущих задач, и способностью к повышению уровня семантической совместимости со своими партнерами;

• договороспособностью, т. е. способностью согласовывать с партнерами свои планы и намерения в целях своевременного обеспечения высокого качества коллективного результата;

• способностью к децентрализованной координации своих действий с действиями партнеров в непредсказуемых (нештатных) обстоятельствах;

• способностью к минимизации негативных последствий конфликтных ситуаций с другими субъектами, которая, в свою очередь, обеспечивается высоким уровнем способности к предотвращению возникновения конфликтных ситуаций и соблюдением этических норм и правил, препятствующих возникновению разрушительных последствий конфликтных ситуаций.

Семантическая совместимость – это степень согласованности (совпадения) систем понятий и других ключевых сущностей, используемых заданными взаимодействующими субъектами. Параметр семантической совместимости чаще всего задается для пар взаимодействующих субъектов.

Подчеркнем, что гибридность и интероперабельность интеллектуальных компьютерных систем нового поколения предполагают отказ от известной парадигмы черных ящиков, поскольку:

• все многообразие моделей решения задач гибридной интеллектуальной компьютерной системы должно интерпретироваться на одной общей универсальной платформе;

• доступность информации о том, как устроены каждый используемый метод и модель решения задач, каждый субъект, существенно повышает качество их координации при совместном решении комплексных задач;

• появляется возможность некоторые методы, модели решения задач и целые субъекты (например, интеллектуальные компьютерные системы) использовать для совершенствования (повышения качества) других методов, моделей и субъектов.

Следует подчеркнуть, что все перечисленные требования, предъявляемые к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения и определяющие их способность к индивидуальному и коллективному решению комплексных системных задач, должны предъявляться и к людям, поскольку сложные виды и области человеческой деятельности являются коллективными и творческими. Особенно это касается интероперабельности. Так, творческий коллектив, состоящий из неинтероперабельных специалистов, не способен создавать интероперабельные интеллектуальные компьютерные системы и тем более соответствующую им технологию.

### **Принципы, лежащие в основе интеллектуальных компьютерных систем нового поколения**

В основу интеллектуальных компьютерных систем нового поколения положены следующие принципы:

– смысловое представление знаний в памяти интеллектуальных компьютерных систем;

– использование общего для всех интеллектуальных компьютерных систем универсального языка смыслового представления знаний в виде рафинированных семантических сетей;

– структурно-перестраиваемая (графодинамическая) организация памяти интеллектуальных компьютерных систем, при которой обработка знаний сводится не столько к изменению состояния хранимых знаков, сколько к изменению конфигурации связей между этими знаками;

– семантически неограниченный ассоциативный доступ к информации, хранимой в памяти интеллектуальных компьютерных систем, по заданному образцу произвольного размера и произвольной конфигурации;

– ситуационное децентрализованное управление информационными процессами в памяти интеллектуальных компьютерных систем, реализованное с помощью агентно-ориентированной

модели обработки знаний, в котором инициирование новых информационных процессов осуществляется не путем передачи управления соответствующим априори известным процедурам, а в результате возникновения соответствующих ситуаций или событий в памяти интеллектуальной компьютерной системы, поскольку основная проблема компьютерных систем состоит не в накоплении знаний, в умении активизировать нужные знания в процессе решения задач;

– переход к семантическим моделям решения задач, в основе которых лежит учет не только синтаксических (структурных) аспектов обрабатываемой информации, но также и ее семантических (смысловых) аспектов – From Data Science to Knowledge Science;

– онтологическая стратификация баз знаний интеллектуальных компьютерных систем в виде иерархической системы предметных областей и соответствующих им онтологий;

– четкая спецификация синтаксиса и семантики всего многообразия языков взаимодействия пользователей с интеллектуальными компьютерными системами, включая языковые средства управления пользовательским интерфейсом, введение в состав интеллектуальной компьютерной системы соответствующих help-подсистем, обеспечивающих существенное снижение языкового барьера между пользователями и интеллектуальными компьютерными системами, что повысит эффективность эксплуатации интеллектуальных компьютерных систем;

– минимизация негативного влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации интеллектуальных компьютерных систем благодаря реализации интероперабельного (партнерского) стиля взаимодействия не только между самими интеллектуальными компьютерными системами, но также между интеллектуальными компьютерными системами и их пользователями. Ответственность за качество совместной деятельности должна быть распределена между всеми партнерами.

В настоящее время пользовательские интерфейсы компьютерных систем (в том числе интеллектуальных) для широкого контингента пользователей не являются семантически (содержательно) дружественными (комфортными). Организация взаимодействия пользователей с компьютерными системами (в том числе с интеллектуальными) – узкое место, оказывающее существенное влияние на эффективность автоматизации человеческой деятельности. В основе современной организации взаимодействия пользователя с компьютерной системой лежит парадигма грамотного пользователя, который знает, чего он хочет от используемого им инструмента, и несет полную ответственность за качество взаимодействия с ним. На современном этапе развития искусственного интеллекта для повышения эффективности взаимодействия необходим переход от парадигмы грамотного управления используемым инструментом к парадигме равноправного сотрудничества, к партнерскому взаимодействию интеллектуальной компьютерной системы со своим пользователем. Семантическая дружественность пользовательского интерфейса должна заключаться в адаптивности к особенностям и квалификации пользователя, исключении любых проблем для пользователя в процессе диалога с интеллектуальной компьютерной системой, в перманентной заботе о совершенствовании коммуникационных навыков пользователя.

### **Главный продукт деятельности в области искусственного интеллекта**

Практическим результатом решения рассматриваемых методологических проблем в области искусственного интеллекта является поэтапное создание глобальной сети эффективно взаимодействующих интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, обеспечивающих комплексную автоматизацию всевозможных видов и областей человеческой деятельности, что, в частности, предполагает реорганизацию и комплексную автоматизацию человеческой деятельности в области искусственного интеллекта с помощью интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

Деятельность в области искусственного интеллекта:

*главная стратегическая цель (главный продукт):* комплексная автоматизация всех видов и областей человеческой деятельности на основе массового использования интеллектуальных компьютерных систем (глобальная сеть (экосистема), состоящая из семантически совместимых интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем, самостоятельно и осмысленно взаимодействующих как между собой, так и с людьми);

*подцели:*

– стратегическая научно-техническая программа комплексной автоматизации всех видов и областей человеческой деятельности на основе массового использования интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем;

– формализация и конвергенция различных видов и областей человеческой деятельности.

Указанный подход к комплексной автоматизации человеческой деятельности означает переход на принципиально новые технологический уклад и уровень развития используемых человеком технологий.

### **Анализ текущего состояния автоматизации человеческой деятельности**

Комплекс средств автоматизации человеческой деятельности:

*проблема текущего состояния:* доминирует независимая локальная автоматизация различных видов и областей человеческой деятельности, т. е. отсутствует комплексный (интегральный) подход к автоматизации человеческой деятельности в целом;

*подпроблемы:*

– каждый человек или коллектив должен вручную декомпозировать решаемые им комплексные задачи, требующие использования различных локальных средств автоматизации, вручную осуществлять взаимодействие этих средств при решении этих задач;

– каждый человек или коллектив должен знать, какие потенциально полезные ему средства автоматизации существуют в текущий момент и как с ними вручную взаимодействовать с помощью соответствующих пользовательских интерфейсов (т. е. знать язык общения с этими средствами и их возможности);

– отсутствует унификация пользовательских интерфейсов для различных локальных средств автоматизации (даже для функционально эквивалентных средств), т. е. с различными, даже эквивалентными, средствами автоматизации необходимо общаться на разных языках.

Следствием того, что организация управления различными локальными средствами автоматизации носит эклектичный характер (разные средства управляются по-разному), являются большие затраты на формирование у пользователей навыков управления различными средствами автоматизации и недостаточно полное использование всех возможностей применяемых средств. Современный этап информатизации и цифровой трансформации человеческой деятельности и соответствующие требования к компьютерной грамотности пользователей носят фактически издательский характер, особенно для неподготовленных пользователей. Пользователя заставляют знать не только смысл своей задачи, но и то, как эта задача решается с помощью компьютерных систем. Причем в разных аналогичных компьютерных системах это делается по-разному.

С расширением многообразия различных локальных средств автоматизации человеческой деятельности существенно возрастают накладные расходы каждого человека и коллектива на организацию взаимодействия с этими средствами автоматизации и, соответственно, существенно сокращается доля времени, которую каждый человек или коллектив может потратить на принципиально неавтоматизируемую (в первую очередь творческую, созидательную) деятельность. В настоящее время при расширении и многообразии средств автоматизации локальных видов и областей человеческой деятельности человек незаметно для себя становится придатком этих средств, уровень квалификации которого определяется не уровнем понимания смысла выполняемой деятельности, а умением управлять соответствующими средствами автоматизации, т. е. умением грамотно нажимать на соответствующие клавиши, кнопки, рычаги.

Если провести аналогию современного характера использования средств автоматизации человеческой деятельности с деятельностью в области музыкального творчества, можно сказать, что на современном уровне использования средств автоматизации доминируют не творцы, не композиторы, а исполнители, которые не способны внести собственный вклад в исполняемое произведение, вклад, раскрывающий замысел композитора, и которые тем более не способны на уместную и гармоничную импровизацию. Очевидно, что такое положение дел существенно снижает темпы технологического прогресса и прогресса во всех автоматизируемых областях человеческой деятельности. Поскольку на современном этапе развития средств автоматизации человеческой деятельности доминирующий характер имеет информационная (умственная) деятельность (в том числе по управлению (использованию) различными средствами автоматизации физической деятельности), создаются хорошие предпосылки для унификации принципов организации управления этими средствами.

### **Актуальность перехода от локальной к комплексной автоматизации человеческой деятельности**

Прежде чем приступить к рассмотрению актуальности перехода от локальной к комплексной автоматизации человеческой деятельности, подчеркнем, что принципиальная возможность реализации такого перехода возникла сравнительно недавно. Это связано с тем, что указанный переход на новый уровень автоматизации человеческой деятельности предполагает автоматизацию не всегда априори предсказуемого и предусматриваемого взаимодействия между различными локальными средствами автоматизации, и поэтому требует использования не просто интеллектуальных компьютерных систем, а интероперабельных интеллектуальных, способных к самостоятельному эффективному взаимодействию в процессе коллективного решения комплексных задач, теория и технология разработки которых только недавно получили свое развитие. Человечество достигло больших успехов в автоматизации локальных видов и областей своей деятельности. При этом человек превратился в субъект, не только управляющий этими средствами, но и связывающий их между собой. Для того, чтобы в этом убедиться, достаточно проанализировать, на что тратится время каждого из нас, и можно ли это автоматизировать. Необходимость именно комплексного подхода к автоматизации человеческой деятельности обусловлена тем, что:

- все виды и области человеческой деятельности взаимосвязаны;
- автоматизация только локализованных видов и областей человеческой деятельности без автоматизации взаимодействия (связей) вынуждает людей вручную выполнять роль связующих звеньев между различными средствами автоматизации.

Массовое внедрение интеллектуальных компьютерных систем во все сферы человеческой деятельности и обеспечение их эффективного взаимодействия для коллективного решения сложных задач на стыках различных видов и областей переводит автоматизацию этой деятельности на качественно новый уровень. Локальное использование интеллектуальных компьютерных систем принципиально не может существенно повысить общий уровень автоматизации. Снижение этого уровня происходит на стыках. Это аналогично тому, что ремонт любой дороги на нескольких локальных участках при сохранении плохого качества дороги на промежутках между этими участками не может существенно повысить пропускную способность ремонтируемой дороги. Для решения проблемы осознанной (осмысленной) автоматической стыковки средств автоматизации различных локальных видов и областей автоматизируемой человеческой деятельности необходим высокий уровень интероперабельности указанных взаимодействующих средств автоматизации (т. е. высокий уровень семантической совместимости, договороспособности и способности к координации действий).

### **Конвергенция различных областей и видов человеческой деятельности как методологическая основа комплексной автоматизации**

Все многообразие видов и областей человеческой деятельности должно быть переосмыслено на предмет их максимально возможной конвергенции для минимизации многообразия (дублирования) технических решений при разработке различных интеллектуальных компьютерных систем автоматизации человеческой деятельности. Для решения проблемы комплексной автоматизации человеческой деятельности необходимы конвергенция (обеспечение совместимости) и глубокая интеграция моделей, методов и средств автоматизации различных видов и областей человеческой деятельности. В этом и заключается суть интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем. Но указанная конвергенция моделей, методов и средств автоматизации требует также конвергенции самих видов и областей человеческой деятельности (это существенно сократит многообразие средств автоматизации).

Конвергенция различных видов и областей человеческой деятельности предполагает построение общей формальной теории человеческой деятельности, являющейся основой для эффективной комплексной автоматизации ее всевозможных видов и областей, в основе которой лежат выявление аналогий и минимизация дублирования (многообразия), унификация и стандартизация технических решений. В результате этого многообразие частных (локальных) технических решений должно превратиться в систему семантически совместимых и эффективно взаимодействующих технических систем. Для того чтобы строго говорить о конвергенции различных видов



и областей человеческой деятельности, необходимо построить их четкую иерархическую систему. В качестве примера фрагмента такой системы рассмотрим структуру деятельности в области искусственного интеллекта, многообразие которой включает:

- развитие общей теории интеллектуальных компьютерных систем;
- развитие соответствующей технологии комплексной поддержки жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем;
- инженерную деятельность по созданию и эксплуатации прикладных интеллектуальных компьютерных систем, в том числе по развитию глобальной экосистемы этих систем;
- подготовку кадров в области искусственного интеллекта;
- разработку и реализацию тактики и стратегии развития искусственного интеллекта, организационное обеспечение этого развития.

Очевидно, что подобную структуру имеют все области человеческой деятельности, направленные на создание различных сложных искусственных (в том числе социотехнических) систем. При этом можно говорить об общих принципах организации и поддержки (автоматизации) с помощью интеллектуальных компьютерных систем для разных областей:

- научно-исследовательской деятельности;
- проектной деятельности;
- производственной деятельности;
- подготовки кадров.

В основе указанной конвергенции различных видов и областей человеческой деятельности лежит борьба с информационным кризисом (информационным потоком), с дублированием накапливаемого человечеством знаний и навыков. Для этого необходимы переход на смысловое представление знаний, удобное как для людей, так и для интеллектуальных компьютерных систем, а также конвергенция онтологий разных предметных областей (конвергенция соответствующих систем понятий). Особо следует подчеркнуть, что непосредственная текущая деятельность администраторов (менеджеров) различного уровня по контролю и управлению бизнес-процессами соответствующих им организаций должна быть полностью формализована, автоматизирована и заменена на деятельность по эволюции (модернизации, развитию, совершенствованию) этих организаций.

### **Архитектура глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем**

Глобальная экосистема интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем представляет собой сеть взаимодействующих индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем. Детализация архитектуры экосистемы прежде всего предполагает ролевую типологию (специализацию) интеллектуальных компьютерных систем, входящих в экосистему:

- персональные ассистенты;
- порталы научно-технических знаний;
- интеллектуальные автоматизированные системы управления сложными объектами различного вида (производственными предприятиями, городами, организациями и др.);
- интеллектуальные обучающие системы;
- интеллектуальные системы автоматизированного проектирования (в том числе коллективного) сложных систем различного вида.

Кроме этого, типологию индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем можно рассматривать по характеру их внешней среды:

- индивидуальная интеллектуальная компьютерная система, взаимодействующая только с другими индивидуальными интеллектуальными компьютерными системами;
- корпоративная интеллектуальная компьютерная система, обеспечивающая координацию деятельности соответствующего коллектива интеллектуальных компьютерных систем;
- индивидуальная интеллектуальная компьютерная система, взаимодействующая с другими индивидуальными интеллектуальными компьютерными системами и с физической окружающей средой;

- индивидуальная интеллектуальная компьютерная система, взаимодействующая с другими индивидуальными интеллектуальными компьютерными системами и с конкретным обслуживаемым пользователем (персональный ассистент пользователя).

### **Направления самостоятельной и искусственно поддерживаемой эволюции глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем**

Важнейшим фактором, определяющим качество любой кибернетической системы (в том числе глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем), является не только ее функциональная мощность (множество всех решаемых ею задач, определяющих уровни ее самоорганизации и интеллекта), но и уровень ее обучаемости (уровень способности к собственной эволюции, к повышению своих уровней самоорганизации и интеллекта). Эволюция глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем осуществляется одновременно на следующих ее архитектурных уровнях в рамках:

- каждой индивидуальной интеллектуальной компьютерной системы, входящей в состав экосистемы (индивидуальная интеллектуальная компьютерная система – это целостная интеллектуальная компьютерная система, способная самостоятельно взаимодействовать с окружающей ее средой, в том числе с себе подобными);

- каждого входящего в экосистему коллектива индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем, входящих в состав экосистемы (каждый такой коллектив представляет собой многоагентную систему, способную коллективно решать соответствующее множество задач);

- каждого входящего в экосистему иерархического коллектива интеллектуальных компьютерных систем, в состав каждого из которых могут входить и индивидуальные интеллектуальные компьютерные системы, и коллективы индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем, и другие иерархические коллективы таких систем;

- каждой популяции интеллектуальных компьютерных систем, входящих в экосистему и автоматически порождаемых и обучаемых в ее рамках.

Выделим следующие направления эволюции индивидуальных и коллективных (многоагентных) кибернетических систем.

- Каждая индивидуальная кибернетическая система (индивидуум, особь, организм) эволюционирует (совершенствуется, самообучается) путем накопления информации об окружающей среде и приобретения опыта по взаимодействию с этой средой. Цель эволюции (самообучения) – выявление таких полезных факторов окружающей среды, которые способствуют сохранению целостности и увеличению срока жизни индивидуальной кибернетической системы, а также опасных (вредных) для кибернетической системы факторов окружающей среды.

- Каждая индивидуальная кибернетическая система имеет конечный срок жизненного цикла. Поэтому важнейший этап эволюции индивидуальных кибернетических систем – приобретение ими способности порождать (воспроизводить) себе подобных (например, путем деления). В результате этого вместо множества разнообразных индивидуальных кибернетических систем возникает множество разных популяций индивидуальных кибернетических систем, каждая из которых состоит из индивидуальных кибернетических систем одного вида, способных размножаться, т. е. порождать «потомство» новых себе подобных индивидуальных кибернетических систем, которым передается опыт, накопленный «предками».

- Переход от индивидуальных кибернетических систем к их коллективам, обеспечивающим существенное расширение множества решаемых задач. В основе таких коллективов лежат принципы организации взаимодействия индивидуальных кибернетических систем при коллективном решении сложных задач.

- Формирование (создание) для всех членов коллектива или популяции кибернетических систем общей памяти, в которой аккумулируются все накопленные ими знания и передаются всем членам коллектива или популяции кибернетических систем (в частности, от «предков» к «потомкам»). В основе указанной общей памяти лежит общий язык.

- Эволюция кибернетической системы, осуществляемая не только в форме повышения качества своей базы знаний, но также в форме модернизации собственной физической оболочки и в форме изменения своей внешней среды.

## Заключение

1. Кризис современного состояния технологий искусственного интеллекта очевиден и требует перехода к принципиально новому поколению интеллектуальных компьютерных систем. В Республике Беларусь разработана не имеющая аналогов в мире стартовая версия комплексной технологии разработки и модернизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, названная технологией OSTIS (Open Semantic Technology for Intelligent Systems). Интеллектуальные компьютерные системы нового поколения, разрабатываемые по этой технологии, названы ostis-системами. Сама технология OSTIS реализуется в форме специальной ostis-системы, которая названа метасистемой OSTIS и база знаний которой содержит: формальную теорию ostis-систем; стандарт ostis-систем и технологии OSTIS (стандарт OSTIS); ядро библиотеки многократно используемых компонентов ostis-систем (библиотеки OSTIS); методики и инструментальные средства поддержки жизненного цикла ostis-систем и их компонентов.

2. Текущее состояние технологии OSTIS прошло апробацию на целом ряде приложений, а также на ежегодных конференциях OSTIS, которые специально для этого были организованы, начиная с 2011 г. Состояние OSTIS позволяет не только продолжить работы по развитию этой технологии, но также начать работы по комплексному ее использованию для перевода современного уровня информатизации Республики Беларусь на принципиально новый уровень, основанный на массовом применении семантически совместимых и эффективно самостоятельно взаимодействующих друг с другом интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Основная проблема здесь заключается не в самих интеллектуальных компьютерных системах, а в необходимости переосмысления информатизации различных отраслей для обеспечения их семантической совместимости, стратифицированности, конвергентности и, в конечном счете, для максимально возможного упрощения соответствующих информационных ресурсов и информационных процессов – эклектичная, близорукая, несогласованная реализация информационных ресурсов и процессов искусственно и существенно усложняет информатизацию и без того весьма сложных видов и областей человеческой (точнее, социотехнической) деятельности, входящих в комплексную информатизацию Беларуси.

3. Кадровый потенциал, необходимый для реализации предлагаемой программы стратегического развития комплексной информатизации Республики Беларусь, имеется. С 1995 г. в БГУИР начата подготовка молодых специалистов по специальности «Искусственный интеллект» и создана соответствующая кафедра. В настоящее время подготовка специалистов по этой специальности ведется в четырех университетах республики – БГУИР, БрГТУ, ПГУ, ГрГУ.

## Список литературы

1. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. М.: Наука, 1986.
2. Варшавский, В. А. Оркестр играет без дирижера. Размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими / В. А. Варшавский, Д. А. Поспелов. М.: Наука, 1984.
3. Тарасов, В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. М.: Эдиториал УРСС, 2002.
4. Формирование стратегии развития Комитета по искусственному интеллекту в Научно-образовательном центре «Инженерия будущего» / И. И. Баринов [и др.] // Онтология проектирования. 2021. Т. 11, № 3. С. 260–293. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-260-293.
5. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. Минск: Бестпринт, 2021.
6. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / Под общ. ред. В. В. Голенкова. Минск: Бестпринт, 2023.
7. Палагин, А. В. Проблемы трансдисциплинарности и роль информатики / А. В. Палагин // Кибернетика и системный анализ. 2013. № 5. С. 3–13.
8. Михневич, С. Ю. Эволюция понятия интероперабельности открытых информационных систем / С. Ю. Михневич, А. А. Тежар // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 2. С. 60–66. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-60-66>.
9. Головенчик, Г. Г. Цифровые технологии – ключевой драйвер развития умных городов: анализ мировых рейтингов / Г. Г. Головенчик // Цифровая трансформация. 2022. Т. 28, № 1. С. 5–19. <http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-5-19>.

## References

1. Pospelov D. A. (1986) *Situational Management. Theory and Practice*. Moscow, Nauka Publ. (in Russian).
2. Varshavsky V. A., Pospelov D. A. (1984) *Orchestra Plays Without a Conductor. Reflections on the Evolution of Some Technical Systems and Their Management*. Moscow, Nauka Publ. (in Russian).
3. Tarasov V. B. (2002) *From Multi-Agent Systems to Intelligent Organizations: Philosophy, Psychology, Informatics*. Moscow, Editorial URSS (in Russian).
4. Barinov I. I., Borgest N. M., Borovik S. Yu., Granichin O. N., Grachev S. P., Gromyko Yu. V., et al. (2021) Development Strategy Formation of the Committee on Artificial Intelligence in the Scientific and Educational Center “Engineering of the Future”. *Ontology of Designing*. 11 (3), 260–293. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-260-293 (in Russian).
5. Golenkov V. V., Gulyakina N. A., Shunkevich D. V. (2021) *Open Technology of Ontological Design, Production and Operation of Semantically Compatible Hybrid Intelligent Computer Systems*. Minsk, Bestprint Publ. (in Russian).
6. Golenkov V. V. (ed.) (2023) *Technology of Complex Life Cycle Support of Semantically Compatible Intelligent Computer Systems of New Generation*. Minsk, Bestprint Publ. (in Russian).
7. Palagin A. V. (2013) Problems of Transdisciplinarity and the Role of Informatics. *Cybernetics and System Analysis*. (5), 3–13 (in Russian).
8. Mikhnevich S. Y., Tsezhar A. A. (2023) Evolution of the Concept of Interoperability of Open Information Systems. *Digital Transformation*. 29 (2), 60–66. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-60-66> (in Russian).
9. Golovenchik G. G. (2022) Digital Technologies Are a Key Driver of the Development of Smart Cities: Analysis of World Rankings. *Digital Transformation*. 28 (1), 5–19. <http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-5-19> (in Russian).

## Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

### Сведения об авторах

**Голенков В. В.**, д-р техн. наук, проф., проф. каф. интеллектуальных информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

**Гулякина Н. А.**, канд. физ.-мат. наук, доц., доц. каф. интеллектуальных информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

**Шункевич Д. В.**, канд. техн. наук, доц., зав. каф. интеллектуальных информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
Тел.: +375 17 293-80-92  
E-mail: [golen@bsuir.by](mailto:golen@bsuir.by)  
Голенков Владимир Васильевич

### Information about the authors

**Golenkov V. V.**, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Professor at the Department of Intelligent Information Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

**Gulyakina N. A.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Intelligent Information Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

**Shunkevich D. V.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Intelligent Information Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovki St., 6  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
Tel.: +375 17 293-80-92  
E-mail: [golen@bsuir.by](mailto:golen@bsuir.by)  
Golenkov Vladimir Vasilievich