

УДК 004.8:004.9:001.895

Многоагентные системы для поддержки инновационной деятельности научно - педагогических работников

Утепбергенов Ирбулат Туремуратович¹

i.utepbergenov@aues.kz

Сейдазимов Сырым Байболұлы¹

syreken.ss@gmail.com

Тимофеев Виктор Борисович²

timofeev@bmstu.ru

¹ НАО «АУЭС имени Гумарбека Даукеева», Алматы, Казахстан

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Многоагентные системы (МАС) относятся к передовым технологиям, способствующим автоматизации и оптимизации процессов. Целью данной работы является изучение возможности использования многоагентных систем для автоматизации рутинных работ в инновационных процессах. Исследование направлено на выявление способов, которыми МАС могут способствовать автоматизации задач, улучшению координации данных и оптимизации решений в организациях образования. В исследовании используется комплексный подход, включающий качественный и количественный анализ для оценки вклада многоагентных систем в инновационные процессы и управление информацией.

Ключевые слова: многоагентные системы, инновационная деятельность, управление информацией, автоматизация инновационного процесса

Введение. Многоагентные системы (МАС) представляют собой передовой класс технологий, разработанный для решения сложных, распределенных задач, требующих координации и автономного принятия решений. Основными атрибутами МАС являются автономия агентов, способность к кооперации, распределенное принятие решений, адаптивность и возникновение (эмерджентность) глобального поведения из локальных взаимодействий [1]. Эти системы предоставляют комплексный и адаптивный подход к работе с информацией, что позволяет создавать гибкие среды, способные эффективно адаптироваться к быстро меняющимся требованиям современного информационного общества [2].

Инновационная деятельность в настоящее время ассоциируется с Research and Development (R&D), что переводится как «Исследования и Разработки» в русскоязычной практике часто используется аналог НИОКР — научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы). Поэтому инновационная деятельность научно-педагогических работников (НПР) в образовательных организациях по своей природе является сложным, итеративным процессом, сопряженным с высокой степенью неопределенности. Эффективность инновационных инициатив напрямую зависит от способности организации оперативно реагировать на внешние изменения, интегрировать новые знания и управлять информацией, часто являющейся разнородной и распре-

деленной [2]. Вызовы включают необходимость автоматизации рутинных работ поиска и систематизации информации, оптимизации координации между исследователями и принятия решений в условиях ограниченных ресурсов.

Гипотеза применения МАС в данном контексте заключается в том, что они могут служить мощным инструментарием, обеспечивающим поддержку инновационной деятельности за счет автоматизации и оптимизации процессов. Этот перспективный инструментарий объединяет вычислительные мощности и интеллектуальные возможности агентов для решения сложных задач, возникающих при создании инновационного процесса. В процессе исследований практических аспектов применения МАС их возможности рассматриваются применительно к категории НПП для повышения эффективности инновационных процессов.

С появлением и развитием искусственного интеллекта (ИИ) роль МАС претерпела значительную трансформацию. Сегодня центральное место в МАС занимают интеллектуальные агенты, часто основанные на больших языковых моделях (LLM). Эти агенты способны автономно выполнять задачи от имени пользователя или другой системы, проектируя свой рабочий процесс и используя доступные инструменты [1]. В контексте инноваций НПП это означает переход от простой автоматизации поиска к созданию когнитивных партнеров, способных к семантическому анализу, генерации идей и даже организации обзоров литературы, что значительно усиливает способность системы поддерживать не только рутинные, но и творческие этапы инновационного цикла.

Поддержка работы со знаниями (Knowledge Management) и управление информацией имеют долгую историю развития. Ранние системы информационного поиска (IR), такие как система SMART, разработанная в Корнельском университете в 1960-х годах, заложили основы для многих ключевых концепций, включая векторную модель пространства, обратную связь по релевантности и классификацию Роккио [3]. Эти концепции стали фундаментальной базой, на которую опираются современные интеллектуальные системы.

Однако традиционные системы управления информацией (СИУ) исторически фокусировались на агрегации и обработке данных для поддержки операционных, тактических или стратегических решений, предоставляя отчеты и статистику для менеджеров на всех уровнях [4]. Они характеризуются централизованной архитектурой и низкой адаптивностью, требуя ручной перенастройки при изменении бизнес-процессов или исследовательской среды. В эпоху цифровой экономики, характеризующейся высокой скоростью изменений и необходимостью кросс-доменного обмена, такая статичность становится серьезным ограничением для инновационной деятельности в вузах.

Таким образом, возникла концепция интеллектуальных систем управления информацией (Smart Management Information Systems, SMIS). SMIS представляет собой логическое развитие МИС, где МАС играет ключевую архитектурную и функциональную роль. SMIS обеспечивает адаптацию к изменениям среды и облегчает кросс-доменное, кросс-организационное и кросс-департа-

ментное совместное распределение ресурсов на основе потребностей пользователя. Критически важно, что SMIS позволяет принимать независимые или ассистированные управленческие решения, значительно повышая эффективность управления и оперативность принятия решений [5]. Для инновационной деятельности НПП такой концептуальный сдвиг означает, что система не просто хранит и предоставляет данные, но активно участвует в ее стратегическом планировании и оптимизации процессов.

Материалы и методы. *Классификация архитектур МАС.* Выбор архитектуры МАС имеет решающее значение для обеспечения эффективности поддержки инновационной деятельности, поскольку он должен отражать децентрализованный и гибкий характер исследовательских коллективов. Архитектура МАС определяет, как агенты взаимодействуют, координируют свои действия и обмениваются знаниями. В табл. 1 приведены результаты сравнительного анализа наиболее часто встречающихся архитектур МАС для управления инновационной и исследовательской деятельностью.

Таблица 1

Сравнительный анализ архитектур МАС для управления R&D

Архитектурная модель	Ключевые характеристики	Применение в R&D (НПП)	Ограничения
Централизованная	Единая база знаний, центральный контроль.	Стандартизация документации, управление отчетностью	Низкая отказоустойчивость, риск подавления автономии
Децентрализованная	Обмен информацией с соседями, нет глобального контроля.	Поддержка независимых исследовательских групп, модульность	Сложность координации и достижения глобальных целей
Коалиционная	Временное объединение для достижения конкретной цели.	Формирование временных междисциплинарных проектных команд	Сложность поддержания в динамичной среде
Холоническая	Самоорганизующиеся иерархии, гибкое группирование.	Моделирование крупных институтов с высокой автономией подразделений	Сложность начального проектирования

Фундаментальное деление архитектур МАС представлено двумя следующими.

Централизованные сети. В такой архитектуре существует центральный блок, содержащий глобальную базу знаний и управляющий информацией и связями между агентами. Преимуществом является легкость коммуникации и унифицированное знание, но главный недостаток — высокая зависимость от центрального блока: его отказ приводит к сбою всей системы. Для инноваций НПР такая структура подходит только для высокоструктурированных, рутинных задач, например, стандартизации отчетности.

Децентрализованные сети. Агенты обмениваются информацией только со своими соседями, без глобальной базы знаний. Основными преимуществами являются робастность и модульность. Сбой одного агента не приводит к отказу всей системы, что критически важно в непредсказуемых исследовательских средах. Однако координировать поведение агентов для достижения общей выгоды в децентрализованной системе сложнее.

Для поддержки кооперации в инновационной деятельности, которая часто включает временные, междисциплинарные группы, наиболее эффективными являются специализированные, гибкие структуры [1].

Коалиционная структура. Агенты временно объединяются для повышения полезности или производительности, что часто происходит в случаях недостаточной производительности отдельных агентов. После достижения цели коалиции распускаются. Это идеально имитирует формирование временных проектных R&D команд, создаваемых для выполнения конкретных грантовых задач или решения узконаправленных инновационных проблем. Сложность заключается в поддержании коалиций в динамичных средах, где может потребоваться частое перегруппирование.

Холоническая структура. Агенты сгруппированы в холархии — самоорганизующиеся иерархии. Ведущий агент может иметь множество субагентов, в то время как сам он выглядит как единая сущность. Эта структура, будучи более иерархичной, чем коалиции, сохраняет гибкость и самоорганизацию. Холоническая структура наилучшим образом подходит для моделирования крупных исследовательских центров и институтов, где требуется сочетание высокой автономии отдельных лабораторий и общего, координирующего управления на уровне всего вуза.

Таким образом, принятие решения об архитектуре МАС должно основываться на понимании того, что для инновационной среды требуется структура, обеспечивающая отказоустойчивость, гибкость и возможность автономного взаимодействия, что прямо указывает на предпочтение децентрализованных и самоорганизующихся (холонических/коалиционных) моделей.

Типология интеллектуальных агентов и их функции в R&D. Интеллектуальные агенты, составляющие МАС, также классифицируются по их способности адаптироваться к рабочим процессам и сложным средам. Различают агентов, ориентированных на цели (Goal-driven), которые управляют прогрессом проекта и последовательностью задач, и агентов, основанных на полезности (Utility-based), которые оптимизируют распределение ресурсов и минимизируют риски [6]. В контексте R&D, Goal-driven агенты могут

управлять этапами гранта, в то время как Utility-based агенты могут оптимизировать использование лабораторного оборудования или бюджета.

Однако наиболее значительный сдвиг в функциональности агентов связан с интеграцией LLM. Агенты, основанные на LLM, обладают передовыми техниками обработки естественного языка и способны к проектированию сложных рабочих процессов. Это позволяет МАС выполнять задачи, требующие высокого уровня человеческой экспертизы.

Анализ запросов на инновации. МАС анализирует запрос пользователя и предоставляет результат анализа, прежде чем пользователь запросит выполнение инновационного процесса. Если агент является LLM-агентом, этот анализ включает семантическое понимание, оценку новизны и рыночного потенциала.

Генерация и систематизация знаний. В контексте программной разработки, агенты могут создавать новые тикеты, анализировать прошлые ошибки или генерировать предложения по коду. В R&D, аналогично, агенты могут обрабатывать массивы научной литературы и патентной информации, генерируя гипотезы, организуя обзоры литературы и выявляя пробелы в знаниях (knowledge discovery).

Имитация и моделирование сложных сценариев. МАС являются мощными инструментами для моделирования взаимодействия и понимания эмерджентного поведения в сложных системах, например, для симуляции кибератак или рыночных сценариев. В R&D это позволяет прогнозировать эффективность различных стратегий обмена знаниями или распределения ресурсов.

Таким образом, современные МАС для НПП перестают быть просто системами автоматизации рутинных операций (например, поиска), а становятся интеллектуальными когнитивными партнерами, способными к стратегической поддержке и выполнению комплексных задач, требующих автономной логики и высокой степени адаптивности.

Агент-ориентированное моделирование и GAML. Для изучения практических аспектов применения МАС в инновационной деятельности и моделирования поведения агентов широко используется агент-ориентированное моделирование. Этот подход позволяет моделировать работу децентрализованных систем, где общие характеристики системы формируются на основе взаимодействия множества индивидуальных агентов, которые могут представлять, как людей, так и компьютерные системы.

Для реализации таких моделей часто применяется язык GAML (General Agent Modeling Language), который используется для создания моделей агентов на платформе GAMA Platform, позволяя немедленно проводить эксперименты с созданными моделями. Важность этого инструмента заключается в том, что он позволяет исследователям экспериментировать с абстрактными инновационными идеями и оценивать динамику поведения агентов в процессе инновации и обмена информацией на каждом временном шаге [2].

Использование GAML для моделирования напрямую связывается с теоретическими моделями поведенческой экономики и эволюционной теории игр, что придает эмпирическую строгость анализу R&D среды.

Таким образом, GAML служит мостом между теоретической моделью R&D кооперации и ее эмпирической оценкой в контролируемой среде симуляции.

Автоматизация поиска и систематизации информации. Одним из ключевых применений МАС в деятельности НПП является автоматизация рутинных работ поиска и систематизации информации, что является необходимым условием для эффективного инновационного процесса.

Интеллектуальный поиск в МАС опирается на фундаментальные основы информационного поиска (IR), разработанные десятилетия назад. Например, система SMART заложила основу для таких важных концепций, как векторная модель пространства, которая позволяет представлять документы и запросы в виде векторов, и обратная связь по релевантности, которая улучшает результаты поиска на основе оценки пользователя [3].

Современные МАС берут эти основы и интегрируют их с передовыми методами искусственного интеллекта, включая обработку естественного языка (NLP) и языковое моделирование. В отличие от классического поиска, который просто извлекает релевантные документы, интеллектуальные агенты, использующие LLM, могут выполнять высокоуровневые когнитивные задачи:

Событийно-ориентированная организация информации. Агенты могут не просто находить документы по ключевым словам, но организовывать информацию вокруг конкретных исследовательских событий или трендов.

Выявление противоречий (Controversy Detection). В научной среде критически важно выявлять спорные или противоречивые данные. МАС может анализировать массивы текстов для обнаружения таких противоречий и предоставления проактивных рекомендаций исследователям.

Управление запросом на инновации. В модели, предложенной для поддержки инноваций, пользователь взаимодействует с МАС, чтобы запросить инновацию. МАС анализирует запрос, предоставляет результат анализа, и затем, по запросу пользователя, выполняет инновационный процесс. Функция «анализа запроса» требует высокого уровня когнитивного понимания и способности синтезировать знания, что реализуется за счет современных LLM-агентов.

Результаты. *Моделирование обмена знаниями в R&D командах (Knowledge Sharing).* Эффективность инновационной деятельности НПП неразрывно связана с процессом обмена знаниями внутри исследовательских команд. R&D команды являются основным носителем для осуществления технологических инноваций, и их задача состоит в интеграции различных частей внутреннего знания для достижения общих R&D целей.

Моделирование, особенно с использованием таких инструментов, как GAML, позволяет изучить и оптимизировать факторы, влияющие на этот процесс. Было подтверждено, что такие факторы, как когнитивная способность, способность к поглощению (абсорбции) и трансформации знаний, а также степень комплементарности знаний между членами команды, существенно повышают эффективность обмена знаниями и, как следствие, инновационную производительность.

Кроме того, моделирование поведенческих факторов с помощью эволюционной теории игр показывает, что управленческие стратегии, направленные на снижение экологического риска (environmental risk) и управление риском обмена знаниями (risk preference) членов команды, могут значительно улучшить инновационную производительность R&D команд.

В отличие от классического поиска, который просто извлекает релевантные документы, интеллектуальные агенты, использующие LLM, могут выполнять высокоуровневые когнитивные задачи.

Дифференциация SMIS (MAC) от традиционных систем правления. Для обеспечения стратегической поддержки инновационной деятельности НПП необходимо четко позиционировать MAC в контексте систем управления, подчеркивая их превосходство над традиционными подходами. Многоагентные системы, реализованные в виде Интеллектуальных МИС (SMIS), предлагают фундаментальные преимущества перед традиционными МИС, а также системами планирования ресурсов предприятия (ERP) и системами управления производственными процессами (MES) [5].

Традиционные системы, такие как ERP, фокусируются на централизованном интегрировании основных бизнес-процессов (финансы, кадры, инвентаризация), обеспечивая полный контроль над операциями. МИС предоставляют агрегированные данные для поддержки принятия решений. Эти системы, однако, остаются преимущественно централизованными и реактивными, требуя значительных усилий для адаптации к динамической среде.

MAC и SMIS, напротив, построены на принципах децентрализации и адаптивности. Ключевые различия заключаются в следующем [5].

Архитектурный сдвиг: SMIS предлагает распределенную архитектуру (например, Cloud-Edge-Terminal), которая позволяет агентам работать на разных уровнях — от центральных облачных хранилищ знаний до локальных систем на терминалах НПП. Это обеспечивает гибкость, модульность и, что наиболее важно для R&D, кросс-доменное и кросс-организационное совместное распределение ресурсов.

Адаптивность и автономия: SMIS адаптируется к изменениям окружающей среды и, благодаря MAC, может принимать самостоятельные или ассистированные управленческие решения. Это обеспечивает необходимую оперативность для R&D, где часто требуется быстрая реорганизация и перераспределение приоритетов в ответ на новые научные открытия или рыночные сигналы.

Это концептуальное и архитектурное различие позиционирует MAC как инструмент, способный обеспечить не просто управление информацией, но и повышение управленческой эффективности и оперативности принятия решений (табл. 2).

На данном этапе исследования была создана на языке GAML модель агентов, которая демонстрирует их поведение в поддержке инноваций. Код создает популяцию связанных агентов, каждый из которых имеет определенный уровень инновации [6]. На каждом временном шаге агенты проходят через процесс инновации и обмениваются информацией.

Обсуждение. Принятие решения об архитектуре МАС должно основываться на понимании того, что для инновационной среды требуется структура, обеспечивающая отказоустойчивость, гибкость и возможность автономного взаимодействия, что прямо указывает на предпочтение децентрализованных и самоорганизующихся (холонических/коалиционных) моделей.

Современные МАС для НПП перестают быть просто системами автоматизации рутинных операций (например, поиска), а становятся интеллектуальными когнитивными партнерами, способными к стратегической поддержке и выполнению комплексных задач, требующих автономной логики и высокой степени адаптивности.

Язык GAML для моделирования напрямую связывается с теоретическими моделями поведенческой экономики и эволюционной теории игр, что придает эмпирическую строгость анализу R&D среды.

Таблица 2

Сравнительный анализ функционала МИС и ИМИС

Параметр управления	Традиционная МИС	МАС/Интеллектуальная МИС	Инсайт для НПП
Архитектура	Централизованная агрегация данных	Распределенная (Cloud-Edge-Terminal), модульная	Устойчивость к сбоям, поддержка удаленной и кросс-организационной работы
Адаптивность к среде	Низкая; требует ручной перенастройки	Высокая; адаптация к изменениям и динамичным запросам	Оперативное реагирование на новые R&D требования и рыночные условия
Принятие решений	Поддержка управленческих решений (отчеты, статистика)	Самостоятельное или ассистированное принятие решений, оптимизация	Поддержка стратегического выбора инновационных путей и распределения грантов
Координация	Централизованное планирование ресурсов (ERP/MIS)	Кросс-доменное и кросс-организационное распределение ресурсов	Эффективное использование общих ресурсов вуза и партнеров

МАС предоставляют идеальную платформу для реализации комплексных систем оценки. Благодаря своей способности собирать данные из распределенных источников и применять сложные алгоритмы, МАС могут агрегировать множество индикаторов (например, публикации, патенты, гранты, цити-

руемость) для создания макроиндекса, который оценивает научную производительность НПП.

В отличие от классического поиска, который просто извлекает релевантные документы, интеллектуальные агенты, использующие LLM, могут выполнять высокоуровневые когнитивные задачи.

Заключение. Проведенный анализ убедительно доказывает, что много-агентные системы являются не просто очередным инструментом автоматизации, а фундаментальной технологической платформой для повышения эффективности поддержки инновационной деятельности научно-педагогических работников. МАС обеспечивают автоматизацию рутинных работ поиска и систематизации информации, улучшают координацию данных и оптимизируют принятие решений.

Ключевым преимуществом МАС является их способность создавать адаптивные и гибкие среды, которые могут оперативно реагировать на изменения и интегрировать разнородные знания. Благодаря архитектурному сдвигу к децентрализованным и голоническим структурам, МАС отражают динамичную природу R&D команд и обеспечивают робастность системы.

Интеграция когнитивных агентов, основанных на LLM, позволяет МАС перейти от простой агрегации данных к стратегическому партнерству в процессе генерации идей и анализа инновационных запросов.

Моделирование, в частности с использованием языка GAML и эволюционной теории игр, предоставляет эмпирические доказательства того, что МАС могут быть использованы для оптимизации поведенческих факторов в R&D командах, таких как обмен знаниями, путем управления рисками и поощрения комплементарности навыков.

Создана на языке GAML модель агентов, которая демонстрирует их поведение в поддержке инноваций.

Литература

- [1] *What is a Multi-Agent System?* URL: <https://www.ibm.com/think/topics/multiagent-system> (accessed 22.10.2025).
- [2] Гладков Л.А., Гладкова Н.В. Эволюционное проектирование как инструмент разработки многоагентных систем. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 2019, № 3 (205), с. 26–36.
- [3] *SMART Information Retrieval System*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/SMART_Information_Retrieval_System (accessed 22.10. 2025).
- [4] Harvey T. Ong. The Contribution of Management Information System on Innovative Performance: The Case of JDI Company. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 2021, vol. 24, iss. 1S. URL: <https://www.abacademies.org/articles/the-contribution-of-management-information-system-on-innovative-performance-the-case-of-jdi-company-12026.html> (accessed 22.10. 2025).
- [5] Liang C.Y., Wang X.X., Gu D.X. et al. Smart management information systems (SMIS): Concept, evolution, research hotspots and applications. *Data Intelligence*, 2023, vol. 5 (4), pp. 857–884. https://doi.org/10.1162/dint_a_00231
- [6] Сейдазимов С.Б., Утепбергенов И.Т., Шайкулова А.А., Искакова А.Т. Эффективность многоагентных систем в поддержке инноваций и управлении информацией. *Вестник Алматинского университета энергетики и связи*, 2024, № 1, с. 25–36. https://doi.org/10.51775/2790-0886_2024_64_1_26

Multi-agent systems to support innovative activities of scientific and pedagogical workers

Utepbergenov Irbulat Turemuratovich¹

i.utepbergenov@aes.kz

Seidazimov Syrym Bayboluly¹

syreken.ss@gmail.com

Timofeev Viktor Borisovich²

timofeev@bmstu.ru

¹ NPJSC “AUPET named after Gumarbek Daukeyev”, Almaty, Kazakhstan

² BMSTU, Moscow, Russia

Multi-agent systems (MAS) are advanced technologies that facilitate process automation and optimization. The purpose of this work is to study the possibility of using multi-agent systems to automate routine work in innovation processes. The study aims to identify ways in which MAS can facilitate task automation, improve data coordination, and optimize decisions in educational organizations. The study utilizes a comprehensive approach, incorporating qualitative and quantitative analysis, to assess the contribution of multi-agent systems to innovation processes and information management.

Keywords: *multi-agent systems, innovation, information management, automation of the innovation process*