

АГЕНТНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Астраханцева И.А., Астраханцев Р.Г., Бобков С.П.

Астраханцева Ирина Александровна (ORCID 0000-0003-2841-8639), Астраханцев Роман Геннадьевич (ORCID 0000-0001-9880-2826), Бобков Сергей Петрович (ORCID 0000-0001-7315-1625)

Ивановский государственный химико-технологический университет,
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7.
E-mail: i.astrakhantseva@mail.ru, rgastrakhantsev@gmail.com, spb@isuct.ru

В статье исследуются агентные интеллектуальные системы сквозь призму системного анализа как научной и инженерной дисциплины. Представлена эволюция агентно-ориентированного подхода при построении интеллектуальных распределенных систем. Выделены ключевые функциональные свойства таких систем, а именно автономность, реактивность, проактивность, социальность и непрерывность функционирования. Проведен анализ актуальных научных подходов к проектированию архитектуры многоагентных систем и обоснована их значимость для задач, связанных с автоматизацией интеллектуального управления в усложненных информационных средах. Особое внимание уделено вопросам самообучения агентов, устойчивости поведения в динамичных средах и возможности их применения в задачах автоматизированного тестирования на проникновение.

Ключевые слова: многоагентные системы, интеллектуальные агенты, системный анализ, самообучающиеся системы, распределенные архитектуры; автоматизация принятия решений, агентно-ориентированный подход, интеллектуальное управление

AGENT-BASED INTELLIGENT SYSTEMS FROM THE POINT
OF VIEW OF SYSTEM ANALYSIS

Astrakhantseva I.A., Astrakhantsev R.G., Bobkov S.P.

Astrakhantseva Irina Aleksandrovna (ORCID 0000-0003-2841-8639), Astrakhantsev Roman Gennadievich (ORCID 0000-0001-9880-2826), Bobkov Sergey Petrovich (ORCID 0000-0001-7315-1625)

Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.
E-mail: i.astrakhantseva@mail.ru, rgastrakhantsev@gmail.com, spb@isuct.ru

This paper explores agent-based intelligent systems through the lens of systems analysis as a scientific and engineering discipline. It outlines the evolution of the agent-oriented approach in the development of intelligent distributed systems and identifies key functional properties of such systems, including autonomy, reactivity, proactivity, sociality, and persistent operation. The paper reviews contemporary scientific approaches to designing the architecture of multi-agent systems and substantiates their relevance for solving problems related to the automation of intelligent control in increasingly complex informational environments. Special attention is given to agent self-learning, behavioral robustness in dynamic conditions, and the applicability of such systems to automated penetration testing tasks.

Keywords: multi-agent systems; intelligent agents; systems analysis; self-learning systems; distributed architectures; decision-making automation; agent-oriented approach; intelligent control

Для цитирования:

Астраханцева И.А., Астраханцев Р.Г., Бобков С.П. Агентные интеллектуальные системы с точки зрения системного анализа. *Современные научно-технические технологии. Региональное приложение*. 2025. № 4. С. 101-109.
DOI: 10.6060/snt.20258404.00014.

For citation:

Astrakhantseva I.A., Astrakhantsev R.G., Bobkov S.P. Agnetic intelligent systems from the point of view of systems analysis. Modern high technology. Regional application. 2025. N 4. P. 101-109. DOI: 10.6060/snt.20258404.00014.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие информационных технологий сопровождается усложнением технических и организационных систем, в которых роль автономности, адаптивности и способности к самоорганизации повышается в несколько раз. На этом фоне возрастают интерес к агентно-ориентированным архитектурам, в частности - к многоагентным интеллектуальным системам. Их применение охватывает широкий спектр задач - от управления распределенными вычислениями и логистическими сетями до обеспечения информационной безопасности и симуляции социально-экономических процессов [1, 2].

По мере усложнения задач принятие решений требует учета большого количества факторов, данных и быстрой адаптации к изменениям. Агентная парадигма доказала эффективность в создании распределенных, адаптивных и отказоустойчивых систем [3]. Однако в настоящее время отсутствует единый подход к понятию «агентной интеллектуальной системы» в терминах системного анализа.

Целью настоящей статьи является анализ понятия агентной интеллектуальной системы через призму системного анализа, выделение ее ключевых свойств, структурных компонентов и подходов к ее формализации, а также определения отличительных особенностей таких систем по сравнению с другими архитектурами искусственного интеллекта.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Методологической основой настоящего исследования является комплексный подход, базирующийся на принципах системного анализа. Центральным методом выступает концептуальный анализ, в рамках которого произведена декомпозиция понятия «агентная интеллектуальная система» на ключевые функциональные свойства.

Теоретический каркас исследования сформирован путем синтеза и обобщения разнородных источников - от фундаментальных трудов по теории сложных систем (Л. Берталанфи, Г. Малков, Г. Акерман) и искусственного интеллекта и работ отечественной научной школы системного анализа [4, 5] до актуальных публикаций, отражающих современные тенденции развития агентных технологий (М. Вулдридж, Н. Дженнингс [3], С. Рассел, П. Норвиг [1]), а также нормативных стандартов в данной области [6-9].

АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Под интеллектуальным агентом можно понимать автономную сущность (программа или устройство), которая способна воспринимать информацию из окружающей среды (например, через сенсоры) и воздействовать на нее (через управляющие устройства) для достижения поставленных целей [1]. Действия такого агента будут считаться эффективными, если его действия способствуют достижению целевых параметров управляющего процесса [9]. Можно провести аналогию с живой природой, где модель поведения насекомых можно сравнить с решениями интеллектуального агента [10]. Насекомые не обладают полноценным “разумом” как человек, однако действуют более «умно», чем триггерные автоматы (термостаты, реле). Термин «интеллектуальный» показывает более высокий уровень управления в системе по сравнению с простыми жестко запрограммированными системами автоматического управления. Агент способен самостоятельно принимать решения на протяжении длительного времени без непосредственного вмешательства человека.

Совокупность взаимодействующих интеллектуальных агентов образует агентную интеллектуальную систему или многоагентную систему, которая состоит из нескольких взаимодействующих интеллектуальных агентов [2]. Такие системы позволяют решать задачи, которые сложно или невозможно решить с помощью одного монолитного алгоритма или отдельного агента [8]. Функциональные характеристики такой системы позволяют рассматривать ее как непрерывно функционирующую сущность, которая интегрирована в информационную среду.

К одному из ключевых признаков агента можно отнести автономность - способность принимать решения и осуществлять действия без постоянного внешнего управления. Агент самостоятельно определяет цели, выбирает методы их достижения и реализует стратегию поведения с учетом оценки текущего состояния среды.

Дополнительной характеристикой выступает непрерывность функционирования (или живучесть). Она выражается в постоянном присутствии агента в вычислительной системе и его готовности к восприятию и обработке событий в режиме реального времени. Агент функционирует не

Инженерно-технические науки – машиностроение и технологии

по расписанию или по сигналу извне, а как активный элемент среды. Он обеспечивает реакцию на изменения и поддерживает внутреннюю активность в отсутствие прямых вызовов. Интеллектуальный агент должен постоянно отслеживать, что происходит в системе и уметь быстро на это реагировать (реактивное поведение). Его поведение не может быть статичным или заранее полностью запрограммированным. Если в среде происходят изменения, агент должен “заметить” эти изменения, оценить их значение и подстроиться под них, чтобы оставаться эффективным. Например, агент-разведчик в сети должен отреагировать на появление нового активного хоста.

Наряду с реактивностью интеллектуальный агент обладает свойством проактивности. Оно заключается в инициировании действий, которые были вызваны не внешними раздражителями, а внутренними механизмами планирования, прогнозирования или целеполагания. Так, атакующий агент может проактивно искать нетипичные конфигурации веб-сервера, а не ждать результатов стандартного сканирования». Такой подход обеспечивает формирование новых поведенческих стратегий для достижения целей и повышения устойчивости системы в динамически изменяющейся среде [11].

Важной характеристикой агента является его социальность, то есть способность к координации и взаимодействию с другими агентами в рамках общей вычислительной и информационной среды [12]. Это включает обмен сообщениями, согласование действий, формирование планов и совместное выполнение задач. В задаче пентестинга это может быть обмен информацией между агентом-разведчиком, нашедшим открытый порт, и агентом-эксплойтером, который подбирает атаку для этого порта. Благодаря этим свойствам многоагентная система приобретает свойства распределенного интеллекта, где совокупность взаимодействующих агентов формирует адаптивную, самоорганизующуюся структуру, способную к эффективному решению задач в условиях высокой сложности и неопределенности.

Агентные интеллектуальные системы кардинально отличаются как от традиционных автоматизированных систем, так и от классических экспертных систем. Принципиальным отличием является их степень автономности и интеллектуальности компонентов, а также взаимодействие с окружающей средой (табл 1.).

Таблица 1

Сравнение МАС с автоматизированными и экспертными системами
Table 1. Comparison of MAS with automated and expert systems

Критерий	Автоматизированная система	Экспертная система	Многоагентная интеллектуальная система
Автономность	Низкая (строгий алгоритм)	Средняя (в рамках базы знаний)	Высокая (самостоятельное принятие решений)
Взаимодействие со средой	Ограничено или отсутствует	Отсутствует (изолированный анализ)	Активное и постоянное (восприятие и действие)
Адаптивность	Отсутствует	Отсутствует	Высокая (коррекция поведения)
Социальность	Нет	Нет	Есть (координация и взаимодействие)

Автоматизированные системы действуют по строго заданному алгоритму и выполняют запрограммированные действия без обратной связи. Интеллектуальные агенты адаптивно реагируют на изменение среды, анализируют результаты своих действий и корректируют поведение. Агентная система обеспечивает более гибкое управление процессом, автоматизированная система оперирует строго заданными правилами.

Классическая экспертная система, как правило, функционирует на основе неизменяемой базы знаний и логического вывода, при этом не

взаимодействует напрямую с динамичной внешней средой. Такие системы не обладают социальным поведением, их компоненты не обмениваются знаниями, то есть экспертная система представляет собой изолированный “мозговой центр”, который решает задачу на основании заданных знаний. Интеллектуальные агенты получают данные из среды и действуют на нее, координируют действия между собой. Агентская система представляет собой коллектив автономных “исполнителей”, которые взаимодействуют в реальном времени с миром и друг с другом.

Таким образом, агентные интеллектуальные системы преодолевают ограничения традиционных ИИ-систем. Благодаря распределенности и взаимодействию агентов они объединяют преимущества автоматического управления и интеллектуального анализа, обеспечивая при этом устойчивое и адаптивное поведение в сложной и меняющейся обстановке.

Многоагентные системы охватывают методологию исследования и проектирования сложных систем, процессов управления и информационных технологий. Агентные ИИ-системы представляют собой распределенные комплексы взаимодействующих компонентов и являются ярким примером сложных систем, которые требуют системного подхода к их анализу и управлению.

Агентно-ориентированные технологии сегодня рассматриваются как универсальный метод решения сложных задач, который конкурирует с другими технологиями искусственного интеллекта. В рамках системного анализа [5] это означает, что многоагентные системы изучаются и разрабатываются с позиций общего подхода к сложным системам. А именно, с точки зрения формализации предметной области, декомпозиции задачи на подсистемы (отдельных агентов), определения структуры их взаимодействия, анализа глобального поведения системы. Поскольку ни один агент не обладает полным знанием всей системы, возникает задача распределенного управления и обработки информации.

Следует отметить, что в соответствии с отечественным стандартом искусственного интеллекта [7], агентные системы были выделены в отдельный класс. Согласно ГОСТ Р 59277–2020 [8] “Классификация систем искусственного интеллекта” многоагентная система определяется как система из множества взаимодействующих интеллектуальных агентов, способная решать задачи, трудные или нерешаемые для монолитной системы. Таким образом, с точки зрения системного анализа, агентная интеллектуальная система – это сложная распределенная система, в которой координирующее управление заменено взаимодействием автономных подсистем.

Теоретические основы системного анализа напрямую применимы к изучению агентных систем. Системный анализ акцентирует внимание на всеобъемлющем рассмотрении системы, единстве и взаимодействии ее частей, возникновении новых свойств целого, не сводимых к свойствам элементов. Принцип эмерджентности особенно актуален для многоагентных систем, то есть появление качественно новых свойств на уровне системы, отсутствующих у отдельных компонентов. В таких системах коллективное поведение агентов приводит к новым функциональным возможностям всей системы. Также иерархический подход и декомпозиция сложных систем в классическом системном анализе позволяют структурировать многоагентную систему на следующие уровни: отдельный агент, группа агентов, система в целом.

Классики отечественной науки системного анализа В.Н. Васильев, Н.Н. Моисеев, Л.И. Рождественский и др. заложили методологический фундамент, который используется при проектировании агентных ИИ-систем. Например, Н.Н. Моисеев рассматривал системный анализ и теорию оптимальных систем как ключевые направления исследований и разрабатывал математические методы решения сложных прикладных задач. Его труды по теории иерархических систем и оптимальному управлению сформировали основу для координации множества взаимосвязанных элементов. Работы С.Н. Васильева и его школы направлены на формализацию логических процедур для «интеллектуализации» автоматических систем управления [4]. Это был шаг к агентным системам еще в рамках классического подхода. Тогда ставилась задача наделить автоматизированные комплексы элементами искусственного интеллекта, которые позволяли им действовать автономно и адаптивно.

Труды Л.И. Рождественского и его коллег внесли вклад в методологию системного подхода к техническим и организационным системам. Они подчеркивали необходимость учета разнообразных связей и факторов при анализе больших систем, разрабатывали методы моделирования сложных процессов. Классические идеи комплектности, междисциплинарности, учета неопределенности и динамики оказались ценными при изучении многоагентных систем, где поведение целого нелинейно зависит от взаимодействий множества частей. Таким образом, современные агентные системы опираются на прочный фундамент принципов системного анализа и обеспечивают научный подход к их созданию и исследованию.

В последние годы наблюдается переосмысление концепции агентных интеллектуальных систем в свете новых технологий и требований. Современные трактовки акцентируют те аспекты, которые ранее либо отсутствовали, либо были слабо реализованы в классических моделях. В научных публикациях 2020–2025 гг. отмечается, что классический подход к проектированию таких систем имел ряд ограничений.

Использование жестко заданных моделей агентов и заранее прописанных правил взаимодействия не позволяло в полной мере реализовать такие свойства, как самоорганизация, адаптация и обучение агентов. В ответ на это возник эволюционный подход к многоагентным системам, который предполагает гибкое развитие структуры системы на основе взаимодействий и обучения агентов. К основным характерным чертам современных агентских систем авторы относят гибкие протоколы коммуникации, механизм самообучения агентов и способность системы перестраиваться “на лету”.

Также можно выделить еще одну современную тенденцию в развитии науки агентских систем. Это интеграция многоагентных систем с методами машинного обучения, большими данными и облачными технологиями. Агентные системы рассматриваются как часть более широкой экосистемы искусственного интеллекта, а не изолированно. К ним относится развитие направления «распределенного машинного обучения» с помощью сообщества агентов, а также «цифровые двойники» и имитационные модели на базе агентов для прогнозирования и управления сложными процессами [13-20]. Появилось понятие эмерджентного интеллекта (emergent intelligence), когда коллектив агентов показывает интеллектуальные свойства на уровне системы, хотя каждый агент действует по относительно простым правилам. Такие идеи отражены в новейших работах отечественных и зарубежных исследователей, в том числе в стандартах и дорожных картах развития искусственного интеллекта. Агентно-ориентированный подход является перспективным путем развития искусственного интеллекта. Об этом свидетельствует, к примеру, обзор современных подходов к моделированию МАС, где подчеркивается практическая значимость агентных технологий для сложных многокомпонентных систем (от управления аварийными ситуациями до моделирования социальных процессов).

Таким образом, теоретические основы системного анализа и МАС формируют надежный фундамент для решения сложных динамических задач. Далее рассмотрим, как этот подход может быть применен для решения одной из наиболее актуальных проблем кибербезопасности – автоматизации тестирования на проникновение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИИ

Современное понимание агентных интеллектуальных систем обогащается такими новыми слоями, как саморазвитие агентов, возникновение

группового интеллекта, сочетание с другими ИИ-технологиями. Однако базовое определение при этом остается прежним – система автономных взаимодействующих агентов, – развиваются лишь средства и методы достижения ее свойств. На основании рассмотренного выше анализа предлагается авторское определение агентной интеллектуальной системы.

Агентная интеллектуальная система – это организованная в виде иерархической или сетевой структуры совокупность автономных программных существ (агентов), обладающих способностью к восприятию и интерпретации внешней среды, принятию решений, целенаправленному действию, а также взаимодействию друг с другом, функционирующих в стохастических условиях с частичной или полной неопределенностью [21], реализующих процессы адаптации, самообучения и коллективного поведения для достижения индивидуальных и коллективных целей.

В отличие от классических определений, сфокусированных на взаимодействии, авторское определение дополнительно акцентирует внимание на стохастических условиях и частичной неопределенности, что является критически важным для прикладных задач в области кибербезопасности, где среда по своей природе враждебна и неизвестна.

В рамках системного анализа такая система рассматривается как динамически изменяющаяся кибернетическая система с распределенным управлением, множеством контуров обратной связи, критериальной многомерностью и возможностью синтеза сложных поведенческих стратегий через самоорганизацию и согласование между агентами.

Таким образом, такая система представляет собой сложную иерархическую организацию, в которой нет единого центра управления. Поведение такой системы определяется кооперацией множества автономных компонентов. Каждый агент обладает локальными целями и знаниями, обменивается информацией с другими агентами и адаптирует свои действия в ответ на изменения среды.

Системный подход к построению многоагентных систем позволяет выявить прямые соответствия между базовыми концепциями системного анализа и свойствами агентной архитектуры (табл. 2).

Целостность агентной системы обеспечивается посредством протоколов взаимодействия и механизмов координации, благодаря чему достигается согласование действий агентов. В результате система в целом приобретает новые свойства, которые не присущи отдельным агентам. Например,

способность к коллективному планированию, распределенному обучению или высокую отказоустойчивость за счет дублирования функций агентами.

Формально, авторское определение согласуется с ГОСТ Р 59277–2020 [8], где многоагентная система трактуется как «система, состоящая из

множества взаимодействующих интеллектуальных агентов». Однако, авторское определение более широкое и отмечается интеллектуальный характер агентов, то есть способность к автономному решению задач и системный эффект от их объединения.

Таблица 2

Сопоставление принципов системного анализа с характеристиками МАС
Table 2. Comparison of the principles of systems analysis with the characteristics of the MAS

Концепция системного анализа	Проявление в многоагентной системе (МАС)
Эмерджентность	Коллективное выполнение сложной задачи (например, пентеста), которая не может быть решена ни одним агентом в отдельности. Поведение системы возникает из взаимодействия агентов.
Иерархия	Структура агентов включает уровни: управляющий агент → специализированные агенты (разведчик, атакующий) → простые исполнители.
Обратная связь	Агент совершает действие → получает реакцию от среды (например, системы защиты) → адаптирует поведение и стратегию на основе результата.
Целостность и связность	Обеспечивается координацией через «черную доску» или протокол обмена сообщениями, что позволяет агентам действовать как единая система.

Ключевым отличием предложенного определения является акцент на функционировании в стохастических условиях с частичной неопределенностью. Это позволяет более точно описывать системы, применяемые в реальных, непредсказуемых средах, таких как кибербезопасность, в отличие от более общих определений, ориентированных на лабораторные условия.

Агентная интеллектуальная система по мнению авторов является распределенной, в которой глобальное поведение возникает из взаимодействия частей. Ее разработка и исследование базируются на принципах системного анализа, а именно учете комплексности, структуризации системы, анализе информационных потоков между агентами, выявлении и достижении глобальной цели системы через согласование локальных целей агентов. Такой подход позволяет обеспечить целенаправленность и эффективность многоагентной интеллектуальной системы автоматизированного проведения исследований на проникновение, которая является предметом данного исследования. В конечном счете, агентная интеллектуальная система можно определить, как самоорганизующуюся многокомпонентную систему искусственного интеллекта, которая способна автономно и коллективно выполнять слож-

ные целевые функции в сложной среде, что отражает сущность многоагентного ИИ в рамках системного подхода.

Анализ теоретических основ многоагентных интеллектуальных систем создает базу для решения прикладной задачи автоматизации тестирования на проникновение. В настоящем исследовании объектом выступают интеллектуальные агенты, выполняющие функции «виртуальных пентестеров». Появление таких агентов обусловлено развитием методов искусственного интеллекта. Современные подходы допускают создание автономных агентов, которые способны самостоятельно исследовать сетевую инфраструктуру, выявлять уязвимости и эксплуатировать их, имитируя при этом действия реального злоумышленника [6]. Иными словами, автоматизированный пентест эволюционирует в сторону многоагентных систем, где каждый агент наделен элементами интеллекта для адаптации и принятия решений.

С точки зрения системного анализа процесс автоматизации пентестинга можно рассматривать как сложную систему, состоящую из множества взаимодействующих компонентов (агентов), функционирующих в неопределенной, стохастической среде. Под стохастической средой понимается та-

кая среда, состояние которой в следующий момент лишь частично определяется предыдущим, то есть поведение системы не детерминировано полностью. Иными словами, в окружении присутствует элемент случайности, который не позволяет заранее с полной уверенностью предсказать изменения состояния системы. Для эффективного пентеста необходимо учесть, что уровень защищенности целевой системы динамично изменяется во времени, то есть появляются новые уязвимости и атаки [22-25], обновляются механизмы защиты, изменяется конфигурация сетей. В подобных условиях требуется гибкий подход, способный подстраиваться под изменения обстановки безопасности в режиме реального времени.

Исторически автоматизация тестирования на проникновение опиралась на фиксированные сценарии и инструменты (сканеры уязвимостей, скрипты и т.п.). Это накладывает серьезные ограничения. Во-первых, типовые автоматизированные средства следуют предопределенной логике и не умеют адаптироваться к непредвиденным сценариям. В результате они могут пропускать уязвимости, которые проявляются лишь при специфическом стечении обстоятельств или нестандартном поведении системы, требующем контекстного понимания. Во-вторых, многие существующие фреймворки автоматического пентеста построены по статической архитектуре и зачастую рассчитаны на заранее известные типы атак. Такой жестко заданный подход недостаточно гибок при появлении новых и неизвестных угроз. Система не умеет перестраивать свою логику при столкновении с атаками, которые не предусмотрены изначально. Кроме того, проверка эффективности традиционных автоматизированных решений нередко проводится в упрощенных или лабораторных условиях, не отражающих динамику реальных сетевых сред. Все эти факторы приводят к тому, что традиционные методы автоматизации не обладают необходимой адаптивностью и гибкостью для эффективного поведения в условиях изменяющейся защищенности информационных систем.

Можно отметить, что большинство современных работ по автоматизации пентestingа фокусируются на одиночных агентах или централизованных системах. При этом упускаются преимущества распределенного интеллекта, присущие мультиагентным подходам. Данное обстоятельство указывает на необходимость смены парадигмы именно в сторону распределенных интеллектуальных систем. Это поможет снять ограничения.

Разделение сложной задачи пентеста на подзадачи и распределение их между специализированными агентами позволяет более эффективно

справляться с комплексными проблемами информационной безопасности. Каждое направление (разведка, подбор экспloitов, анализ результатов и пр.) может поручаться отдельному агенту. Это обеспечивает параллельное выполнение множества действий и динамическое распределение ресурсов.

Предлагаемая архитектура должна включать несколько типов специализированных агентов: *Agent-Recon* (разведчик, сканирующий сеть и собирающий информацию об открытых портах и сервисах), *Agent-Vulnerability-Scanner* (аналитик, сопоставляющий версии сервисов с базами данных известных уязвимостей типа CVE), *Agent-Exploiter* (атакующий, пытающийся применить подходящие экспloitы) и *Agent-Coordinator* (координатор, который распределяет цели между агентами через «черную доску» и агрегирует результаты для формирования общей картины атаки). Это обеспечивает параллельное выполнение множества действий и динамическое распределение ресурсов.

В совокупности можно повысить масштабируемость процесса и оперативность реакции на выявленные проблемы, то есть гибкость и адаптивность автоматизированного пентеста. Взаимодействуя между собой, агенты могут действовать автономно или коллективно, обмениваться информацией о ходе тестирования. Одновременная работа нескольких агентов дает возможность сразу исследовать различные векторы атак и цели, а также быстро реагировать на изменения обстановки (например, появление новых узлов или изменение конфигурации сети). Для координации их действий можно использовать специализированные механизмы. Например, «черная доска» (общее информационное пространство) или центральный управляющий модуль. Это позволит агентам делиться обнаруженными данными и вырабатывать согласованную стратегию атаки. В литературе уже предлагаются прототипы многоагентных архитектур для пентestingа, показывающие рост эффективности по сравнению с однокомпонентными системами. В одном из подходов реализована совокупность разведывательных, атакующих и аналитических агентов, обменивающихся информацией через общий «Blackboard»-модуль и управляемых центральным агентом принятия решений. Такой распределенный подход показал существенно лучшую масштабируемость и глубину анализа безопасности целевой сети. Аналогично, другие разработки (например, на основе больших языковых моделей) подтверждают, что многоагентные платформы способны устраниить ряд узких мест традиционного пентеста и предоставить более адаптив-

ный инструмент для поиска уязвимостей [11]. Таким образом, переход к многоагентным интеллектуальным системам предоставляет качественно новые возможности для автоматизации пентестинга, обеспечивая гибкое и устойчивое поведение системы автоматизации в условиях неопределенности. Автоматизация тестирования на проникновение на основе интеллектуальных агентов является направлением, сочетающим методы искусственного интеллекта, кибербезопасности и системного анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, многоагентные интеллектуальные системы являются частным, но перспективным классом сложных систем, изучаемых в рамках системного анализа. Их отличительными признаками являются наличие множества взаимодействующих автономных сущностей, способность к самоорганизации и адаптации в стохастической среде, а также потенциальная реализуемость в распределенных вычислительных инфраструктурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Russell S., Norvig P.** Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. Pearson, 2021. 1136 p.
2. **Wooldridge M.** An Introduction to MultiAgent Systems. 2nd ed. Wiley, 2009. 484 p.
3. **Jennings N.R., Wooldridge M.** Agent-Oriented Software Engineering. *Artificial Intelligence*. 2000. V. 117. P. 277–296.
4. **Васильев С.Н.** Основы интеллектуального управления: теория и практика. М.: Горячая линия – Телеком, 2003. 356 с.
5. **Нигматуллин Р.Р.** Системный анализ как направление научных исследований. *Вестник Российской академии наук*. 2007. Т. 77. № 2. С. 101–107.
6. ГОСТ Р 54869–2011. Информационная безопасность. Защита информации. Термины и определения. Введ. 2012-01-01. М.: Стандартинформ. 2011. 24 с.
7. ГОСТ Р 57155–2016. Информационные технологии. Искусственный интеллект. Термины и определения. Введ. 2016-07-01. М.: Стандартинформ. 2016. 16 с.
8. ГОСТ Р 59277–2020. Информационные технологии. Многоагентные системы. Термины и определения. Введ. 2020-09-01. М.: Стандартинформ. 2020. 12 с.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010–2014. Системная и программная инженерия. Требования к качеству и оценка систем и программных продуктов (SQuaRE). Модели качества системы и программного продукта. Введ. 2015-01-01. М.: Стандартинформ. 2015. 36 с.
10. **Ferber J.** Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison-Wesley, 1999. 509 p.
11. **Shoham Y., Leyton-Brown K.** Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. Cambridge University Press. 2009. 512 p.
12. **Stone P., Kaminka G., Kraus S., Rosenschein J.S.** Ad Hoc Autonomous Agent Teams: Collaboration Without Pre-Coordination. *AAAI Magazine*. 2010. V. 31. N 2. P. 76–90.
13. **Бобков С.П., Галиаскаров Э.Г.** Моделирование процесса теплопроводности с использованием систем клеточных автоматов. *Программные продукты и системы*.

Системный подход позволяет трактовать агентную ИИ-систему не как сумму независимых программных модулей, а как целостный объект со сложной внутренней структурой, поддающийся формализации через состояния, функции переходов, цели и механизмы адаптации. Это дает основания для включения агентной парадигмы в понятийный и методологический аппарат системного анализа как научной специальности.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку программного прототипа описанной системы, а также на исследование алгоритмов коллективного обучения агентов с подкреплением для повышения адаптивности их поведения в динамически меняющихся сетевых окружениях.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article

REFERENCES

1. **Russell S., Norvig P.** Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. Pearson, 2021. 1136 p.
2. **Wooldridge M.** An Introduction to MultiAgent Systems. 2nd ed. Wiley, 2009. 484 p.
3. **Jennings N.R., Wooldridge M.** Agent-Oriented Software Engineering. *Artificial Intelligence*. 2000. V. 117. P. 277–296.
4. **Vasiliev S.N.** Fundamentals of Intelligent Control: Theory and Practice. Moscow: Goryachaya Liniya – Telekom, 2003. 356 p.
5. **Nigmatullin R.R.** Systems Analysis as a Field of Scientific Research. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2007. Vol. 77. N 2. P. 101–107.
6. GOST R 54869–2011. Information Security. Information Protection. Terms and Definitions. Introduced 2012-01-01. Moscow: Standartinform. 2011. 24 p.
7. GOST R 57155–2016. Information Technology. Artificial Intelligence. Terms and Definitions. Introduced 2016-07-01. Moscow: Standartinform. 2016. 16 p.
8. GOST R 59277–2020. Information Technology. Multi-agent Systems. Terms and Definitions. Introduced 2020-09-01. Moscow: Standartinform. 2020. 12 p.
9. GOST R ISO/IEC 25010–2014. Systems and Software Engineering. Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). System and Software Quality Models. Introduced 2015-01-01. Moscow: Standartinform. 2015. 36 p.
10. **Ferber J.** Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison-Wesley, 1999. 509 p.
11. **Shoham Y., Leyton-Brown K.** Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. Cambridge University Press. 2009. 512 p.
12. **Stone P., Kaminka G., Kraus S., Rosenschein J.S.** Ad Hoc Autonomous Agent Teams: Collaboration Without Pre-Coordination. *AAAI Magazine*. 2010. V. 31. N 2. P. 76–90.
13. **Bobkov S.P., Galiaskarov E.G.** Simulation of the heat conduction process using cellular automata systems. *Software & Systems*. 2020. N 4. P. 641–650. DOI 10.15827/0236-235X.132.641–650. – EDN RFIIRL.

Инженерно-технические науки – машиностроение и технологии

2020. № 4. С. 641-650. DOI 10.15827/0236-235X.132.641-650. – EDN RFIURL.
14. **Bobkov S.P., Astrakhantseva I.A.** The use of multi-agent systems for modeling technological processes. *Journal of Physics: Conference Series*: 2, Moscow, 01 июля 2021 года. Moscow, 2021. P. 012002. DOI 10.1088/1742-6596/2001/1/012002. – EDN ZXPPKV.
15. **Astrakhantseva I.A., Astrakhantsev R.G., Usoltsev S.D.** [et al.] K-means analysis of spectral properties of BOD-IPY dye during compression on air - water interface: construction of dataset for effective clustering. *Liquid Crystals and their Application*. 2024. V. 24. N 2. P. 43-53. DOI 10.18083/LCappl.2024.2.43. – EDN CXAIQV.
16. **Telegin F.Y., Karpova V.S., Makshanova A. O.** [et al.] Solvatochromic Sensitivity of BODIPY Probes: A New Tool for Selecting Fluorophores and Polarity Mapping. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. V. 24. N 2. P. 1217. DOI 10.3390/ijms24021217. – EDN ZDSWJC.
17. **Ермоляев М.Б., Хомякова А.А., Белова А.Д., Серкова Ю.А.** Разработка алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений на базе системного подхода. *Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Извэкофин]*. 2022. № 01(51). С. 138-146. DOI: 10.6060/ivecofin.2022511.594
18. **Бобков С.П., Астраханцева И.А.** Использование вероятностных клеточных автоматов для моделирования течения жидкости. *Современные научноемкие технологии. Региональное приложение*. 2022. № 2(70). С. 47-54. DOI 10.6060/snt.20227002.0006
19. **Бобков С.П., Астраханцева И.А.** Особенности использования систем клеточных автоматов при моделировании основных процессов переноса. *Современные научноемкие технологии. Региональное приложение*. 2023. № 2(74). С. 49-59. DOI 10.6060/snt.20237402.0005
20. **Бобков С.П., Астраханцев Р.Г., Самарский А.А., Павлова Е.А.** Имитационная модель движения вещества в технологическом аппарате. *Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Извэкофин]*. 2024. № 02(60). С. 32-40. DOI: 10.6060/ivecofin.2024602.681
21. **Astrakhantseva I.A., Astrakhantsev R.G., Mitin A.V.** Randomized C/C++ dynamic memory allocator. *Journal of Physics: Conference Series*: 2, Moscow, 01 июля 2021 года. Moscow, 2021. P. 012006. DOI 10.1088/1742-6596/2001/1/012006.
22. **Кунин А.В., Ильин А.А., Морозов Л.Н., Смирнов Н.Н., Никифорова Т.Е., Прозоров Д.А., Румянцев Р.Н., Афинеевский А.В., Борисова О.А., Гришин И.С., Верес К.А., Курникова А.А., Габрин В.А., Гордина Н.Е.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 132–150. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6849j.
23. **Клюнтинг А.Б., Гордина Н.Е., Прокофьев В.Ю.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2013. Т. 56. Вып. 3. С. 73–77.
24. **Ильин А.А., Ильин А.П., Смирнов Н.Н., Орлова М.В., Гордина Н.Е.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2010. Т. 53. Вып. 5. С. 86–90.
25. **Astrakhantsev R., Chuhno A., Dmukh A.** [et al.] Differences with high probability and impossible differentials for the KB-256 cipher. *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*. 2024. V. 20 N 3. P. 525-531. DOI 10.1007/s11416-024-00532-2. – EDN IQFPUV.
14. **Bobkov S.P., Astrakhantseva I.A.** The use of multi-agent systems for modeling technological processes. *Journal of Physics: Conference Series*: 2, Moscow, 01 июля 2021 года. Moscow, 2021. P. 012002. DOI 10.1088/1742-6596/2001/1/012002. – EDN ZXPPKV.
15. **Astrakhantseva I.A., Astrakhantsev R.G., Usoltsev S.D.** [et al.] K-means analysis of spectral properties of BODIPY dye during compression on air - water interface: construction of dataset for effective clustering. *Liquid Crystals and their Application*. 2024. V. 24. N 2. P. 43-53. DOI 10.18083/LCappl.2024.2.43. – EDN CXAIQV.
16. **Telegin F.Y., Karpova V.S., Makshanova A. O.** [et al.] Solvatochromic Sensitivity of BODIPY Probes: A New Tool for Selecting Fluorophores and Polarity Mapping. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. V. 24. N 2. P. 1217. DOI 10.3390/ijms24021217. – EDN ZDSWJC.
17. **Ermolaev M.B., Khomyakova A.A., Belova A.D., Serkova Ju.A.** Development of an algorithm for intelligent decision support based on a systematic approach. *Ivecofin*. 2022. N 01(51). P. 138-146. DOI: 10.6060/ivecofin.2022511.594 (in Russian).
18. **Bobkov S.P., Astrakhantseva I.A.** Using probabilistic cellular automata to model fluid flows. *Modern high technology. Regional application*. 2022. N 2(70). P. 47-54. DOI 10.6060/snt.20227002.0006.
19. **Bobkov S.P., Astrakhantseva I.A.** Features of the use of cellular automata systems in modeling the main transfer processes. *Modern high technology. Regional application*. 2023. N 2 (74). P. 49-59. DOI 10.6060/snt.20237402.0005.
20. **Bobkov S.P., Astrakhantsev R.G., Samarsky A.A., Pavlova E.A.** Simulation model of the movement of matter in a technological apparatus. *Ivecofin*. 2024. N 02(60). P. 32-40. DOI: 10.6060/ivecofin.2024602.681.
21. **Astrakhantseva I.A., Astrakhantsev R.G., Mitin A.V.** Randomized C/C++ dynamic memory allocator. *Journal of Physics: Conference Series*: 2, Moscow, 01 июля 2021 года. Moscow, 2021. P. 012006. DOI 10.1088/1742-6596/2001/1/012006.
22. **Kunin A.V., Ilyin A.A., Morozov L.N., Smirnov N.N., Nikiforova T.E., Prozorov D.A., Rumyantsev R.N., Afineevskiy A.V., Borisova O.A., Grishin I.S., Veres K.A., Kurnikova A.A., Gabrin V.A., Gordina N.E.** // *ChemChemTech* [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2023. V. 66. N 7. P. 132–150. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6849j.
23. **Klyuntina A.B., Gordina N.E., Prokofiev V.Yu.** // *ChemChemTech* [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2013. V. 56. N 3. P. 73–77.
24. **Ilyin A.A., Ilyin A.P., Smirnov N.N., Orlova M.V., Gordina N.E.** // *ChemChemTech* [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2010. V. 53. N 5. P. 86–90.
25. **Astrakhantsev R., Chuhno A., Dmukh A.** [et al.] Differences with high probability and impossible differentials for the KB-256 cipher. *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*. 2024. V. 20. N 3. P. 525-531. DOI 10.1007/s11416-024-00532-2. – EDN IQFPUV.

Поступила в редакцию(Received) 11.09.2025
Принята к опубликованию (Accepted) 28.10.2025