

ФОРМИРОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ АРХИТЕКТУР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ

Шевкунов М.А., соискатель, ФГБУ «Институт стандартизации»

На основе методов системного анализа, концептуально-логического моделирования, формально-логической разработки и обоснования структур распределенных информационно-управляющих систем, проведен анализ элементов и подсистем декомпозированных контуров управления беспилотными объектами. Для обеспечения свойств автономности, адаптивности, устойчивости функционирования, а также при построении практических моделей беспилотных объектов предложено использовать аппарат интеллектуальных агентов гибридной структуры, на основе BDI-архитектуры (Убеждения – желания – намерения). Показано, что целесообразно использовать единый многоагентный подход при формировании беспилотных систем, как на уровне объекта управления, так и на уровне автоматизированной информационно-управляющей системы (АИУС), обеспечив интеллектуальную поддержку при выполнении целевых задач. Предлагается на уровне АИУС обеспечить информационное комплексирование подсистем координации и планирования, обработки информации с базой данных и знаний для корректировки планов и сценариев в ходе целевого управления.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, беспилотный объект, ин-теллектуальный агент, многоагентная система, BDI-архитектура.

ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные объекты все активнее используются во многих прикладных задачах, связанных с мониторингом поверхности Земли [1, 2], доставкой грузов различного назначения, включая пассажирские перевозки, управлением транспортных потоков на автотрассах [3], поддержкой принятия решений на управление [4] и многие другие. Применительно к беспилотной авиации действующим ГОСТом рекомендуется использовать термин беспилотное воздушное судно (БВС), «управляемое в полете пилотом, находящимся вне его борта, или выполняющее автономный полет по заданному предварительно маршруту»¹.

Круг задач, решаемых беспилотными объектами, значительно расширяется, когда объекты задействуются в составе группы. Это позволяет значительно сокращать время съемки местности, распределяя объекты оптимальным образом [5], в том числе и с учетом важности выбранных целей [6], используя интеллектуальные алгоритмы координации действий в группе [7, 8] и многоагентный подход при разработке моделей для исследования свойств и характеристик беспилотных объектов [9].

Организация группового выполнения целевых задач требует создания команд агентов, когда итоговый результат обеспечивается за счет кооперации, взаимосвязи членов группы, взаимозависимости, что обеспечивает наибольший эффект и эмерджентное качество совместных действий [10]. Применяемые для моделирования командных действий многоагентные системы основываются на интеллектуальных агентах с BDI-архитектурой, когда агент использует компоненты: Beliefs (убеждения), Desires (желания), Intentions (намерения). Компоненты агента определяются таким образом: убеждения представляют собой информацию, которую имеет агент о текущем состоянии среды; желания представляют собой состояния, к которым агент стремится (они могут включать также и цели); намерения представляют собой текущие рабочие цели, которые ведут к действиям агентов [11].

Анализируя области значений этих компонентов, формируя междисциплинарные взаимодействия в ходе решения задач управления, планирования, поддержки принятия решений в организационных структурах функциональных подсистем автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС) [11], представим многоагентный подход на основе когнитивных агентов, как основу для разработки концепции построения моделирующих систем для анализа и обоснования сценариев информационного вза-

¹ ГОСТ Р 57258–2016. Системы беспилотные авиационные. Термины и определения. (Введ. 2017–06–01); (см. п. 3.1.1).

имодействия подсистем автоматизированных комплексов управления применением беспилотных систем.

МНОГОАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ, СУЩНОСТЬ И СВОЙСТВА

Под агентом будем понимать физический/программный объект, который оценивает собственное состояние, состояние других объектов и окружающей среды для выполнения своих действий, включая прогнозирование и планирование, которые максимизируют успешность, в том числе при неожиданном изменении оцениваемых состояний, достижения своих целей².

В многоагентных системах (МАС) существует проблема, заключающаяся в организации коллективного взаимодействия [13]. В качестве механизмов организации такого взаимодействия, как правило, используются различные методы коммуникации. Оно может быть реализовано, например, с помощью стигмергии (общение через изменение параметров среды). Подобное общение может происходить как между всеми членами коллектива, так и ограничиваться локальными взаимодействиями. Передаваемая информация может состоять [11] из планов агентов, их целей, информации об окружающей обстановке в виде интеграционных компонентов, которые могут быть использованы агентами выборочно, а также описания внутренних параметров агентов и др.

² ГОСТ Р 59277–2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. (Введ. 2021-03-01); (п. 3.4).

Расширение функционала МАС позволяет представлять ее, как интеллектуальную систему, реагирующую на воздействия внешнего мира, формирующую свою реакцию на эти воздействия в виде ответных действий назначенными для этого агентами [14]. Основная особенность МАС с системной точки зрения – это ее эмерджентность, то есть способность предоставлять решения, выходящие за рамки индивидуальных возможностей каждого участвующего агента [15].

Разнообразие подходов к делегированию функций агентам и выполняемые ими задачи позволяет представить их в виде Таблицы, сгруппировав свойства агентов с учетом следующих выделенных признаков: поведение, способности, локация [16].

Локация (пространственная и/или информационная) предполагает поиск и идентификацию объектов с применением активных физических средств или априорных данных (знаний). Так для робототехники – это умение ориентироваться в заданном рабочем пространстве (обход препятствий, построение оптимальных маршрутов, а также автоматическая навигация по изображениям в условиях априорной неопределенности внешней среды [17]).

Показатель значимости (см. таблицу) предполагает оценку релевантности³, указывающую, встречается ли рассматриваемое свойство в качестве существенного или второстепенного.

³ Словарь по кибернетике / Под ред. В. С. Михалевича. 2-е изд. – К.: Гл. ред. УСЭ им. М.П. Бажана, 1989. – 751 с. – (С. 48).

Сводка основных свойств агента

ПРИЗНАКИ	СВОЙСТВА	ОПИСАНИЕ	ЗНАЧИМОСТЬ*
Локация	Ситуационность	Агент находится внутри информационной среды и/или является ее частью	1
	Мобильность	Возможность перемещаться по сетям и перемещаться между различными вычислительными модулями	2
Способности	Автономность	Способность к самостоятельному формированию целей и функционированию с самоконтролем своих действий и внутреннего состояния	1
	Реактивность / восприятие	Способность воспринимать окружающую среду с помощью датчиков, при этом восприятие относится к мгновенному вводу, а последовательность восприятия - к полной истории (сценарию)	1
	Способность к коммуникации	Агенты общаются с другими агентами и даже с людьми	1
	Робастность	Поведение агента не подвержено малым изменениям (колебаниям) в свойствах (состоянии) среды	2
	Гибкость	Способность выполнять широкий круг задач, т. е. агент может выбирать из многочисленных вариантов поведения	2
	Адаптивность	Агент адаптации учится, т. е. использует предыдущий опыт для изменения окружающей среды	2
Поведение	Реактивность	Агент своевременно реагирует на изменения в окружающей среде	1
	Проактивность	Способность проявлять инициативу, т. е. самостоятельно генерировать цели и действовать рационально для их достижения. Агенты следуют процессу обсуждения, который включает в себя рассуждения, планирование, ведение переговоров и координацию с другими агентами	2
	Рациональность	Ожидается, что агенты будут выбирать действия, которые максимизируют их ожидаемую производительность	2
	Тактика	Способность устанавливать множественные цели и, вне зависимости от найденных им обстоятельств, решать, каким частным целям активно следовать в текущий момент	2
	Социальность	Способность согласовать свое поведение с поведением других агентов в условиях определенной среды, в том числе и выполнение постоянных обязательств	1

*Значимость признака: 1 – существенная; 2 – второстепенная.

Базируясь на данных свойствах, существуют различные подходы к классификации агентов, наиболее полно представленные в [1, 2]. Так на основе внутреннего представления внешнего мира, выделяются интеллектуальные и реактивные агенты. К интеллектуальным относят агентов, которые способны проводить осмысленные или когнитивные действия, строить рассуждения при выборе решений, осуществлять коммуникативные связи с внешними объектами (агентами, средой), а также управление ресурсами, формированием баз знаний. Реактивные агенты способны только реагировать на ситуацию (при условии, если она «заложена» в его сценарную базу возможных действий). Строить многоэтапные прогнозы, планировать свои действия в зависимости от реальной обстановки, делать выводы реактивные агенты не могут. Для ряда практических задач чаще используют агентов с гибридной архитектурой, сочетающей достоинства, как когнитивных, так и реактивных агентов, так как большинство выполняемых даже простых действий сочетает отдельные «механические» операции – рефлексии и последовательности операций, строго распределенные, например, по времени. Под понятием «архитектура» будем понимать «фундаментальную организацию системы, реализованную в ее компонентах, их взаимосвязей друг с другом и с окружающей средой, а также руководящие правила проектирования и развития системы»⁴.

Будем рассматривать модельно-функциональную структуру интеллектуального агента (ИА) на внутреннем (объектовом) и внешнем – системном уровне управления. Сложность решаемых задач требует применения системного подхода [3, 4] на обоих уровнях. Тогда на уровне выполнения задач отдельным ИА осуществим декомпозицию выполняемых им задач на функциональные подсистемы, представленные в виде гибридной схемы на рис. 1. На рис. 1 показаны входные данные агента, выход вырабатываемых управляющих действий, база знаний (БЗ), пополнение которой обеспечивается подсистемой коммуникаций (К), а оперативное использование БЗ подсистемой анализа и планирования (АП). Подсистема взаимодействия (В) обеспечивает интерфейсные функции между подсистемами [5] ИА, реактивная подсистема (Р) обеспечивает поведение агента за счет алгебры действий, ментальная (М) подсистема обеспечивает обоснованное принятие решения в текущих условиях, в оперативном пространстве, корректируя при необходимости намеченный план действий.

Архитектуру ИА на уровне отдельного объекта управления (технологического процесса) будем понимать, как внутреннюю структуру агента, включающую его функциональные подсистемы, представим следующим выражением:

$$St_a = \{S_i^a, i = \overline{1, n}\}, \quad (1)$$

где St_a – структура агента из множества разнотипных агентов;

S_i^a – структура i – й подсистемы ИА, представленных на рис. 1, для некоторого агента a . В данном представлении для шести подсистем $i=1,2,\dots,6$, соответственно, {К, В, М, Р, АП, БЗ}.

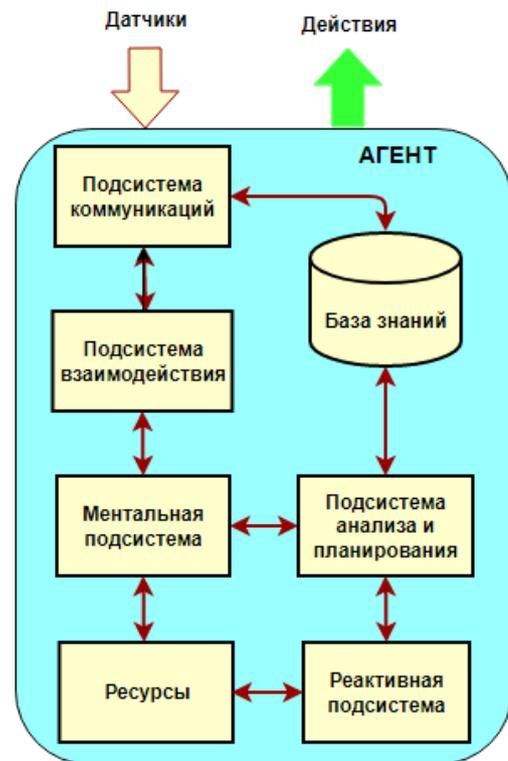


Рис. 1. Структура интеллектуального агента

BDI-архитектура (Belief-Desire-Intention) – один из примеров подобных гибридных архитектур агентов, в которой представлены ментальные состояния агента в терминах его убеждений, целей и намерений [6, 7]. Каждая составляющая у абстрактного агента индивидуальна и может меняться по мере работы агента в некоторой среде. Убеждения (Belief) – это в простейшем случае наблюдения агента о текущем состоянии мира. Желания (Desire) – это описание целевого состояния мира или его части. Намерения (Intention) – это в некотором смысле его доступные действия или ресурсные возможности, имеющиеся планы (сценарии) действий. Так как каждый интеллектуальный агент с BDI – архитектурой имеет свою индивидуальную модель мира (окружающей среды), которая может меняться. При этом могут изменяться цели ИА, убеждения и предпочтения в зависимости от меняющейся обстановки (изменения состояний среды), в которой находится ИА. Тогда для решения задач в составе группы ИА необходимо, в пер-

⁴ ГОСТ Р 55062–2012 Информационные технологии. Интероперабельность. Основные положения. (Введен 2022–04–30); (п. 3.1.1).

вую очередь, договориться об общей понятийной системе и концептуальном каркасе среды.

Для системного уровня управления представим автоматизированную систему (АС) в виде инвариантного контура управления на рис. 2. Инвариантность в данном подходе подразумевается относительно объекта управления [1], в качестве которого может выступать технологический процесс (ТП), тогда рассматривают АСУТП, для управления движением разрабатывается АСУД, для задач автоматизированного проектирования известны системы САПР⁵. Интеграция с задачами ИА представлена в виде отдельных блоков (Убедений, Желаний и Намерений) с привязкой к функционалу выделенных основных подсистем АСУ [1]. Во многом данная структура может быть реализована в рамках многих киберфизических систем различного масштаба: от беспилотного объекта до интегрируемых технологий умных городов [1].

В качестве функциональных подсистем АИУС выделим следующие: подсистему измерений (ПИ); подсистему обработки информации (ПО); подсистему принятия решений (ППР); подсистему координации и планирования (ПКП). Отдельными подсистемами могут быть представлены информационного обмена в процессе взаимодействия указанных подсистем, функция формирования базы данных и знаний (БДЗ), однако в данном примере эти задачи будем рассматривать как вспомогательные.

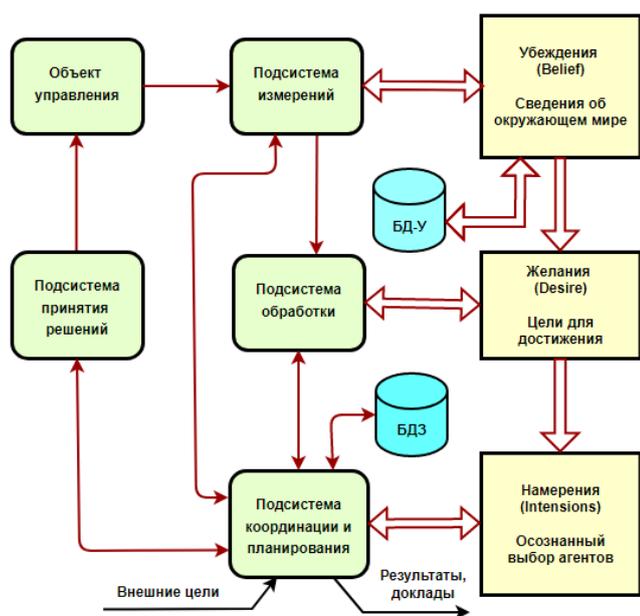


Рис. 2. Структура инвариантного контура управления АИУС в интеграции с BDI-архитектурой

Для решения подобных функционально нагруженных задач воспользуемся многоагентным подходом, позволяющим на концептуальном уровне формировать требования к системе на этапах проектирования, моделирования, разработки и испытания опытного образца.

Представим процессы взаимодействия подсистем и элементов в структуре АИУС в виде многоагентной системы (МАС):

$$MAS = (A, E, R, St_{ORG}), \tag{2}$$

где E – среда (информационное пространство) для рассматриваемой АИУС; множество A – разнотипных агентов; $St_{ORG} = \{st_j\}, j = (1, S)$ – множество организационно-информационных структур; R – семейство базовых отношений между агентами, включающее объединение следующих трех типов отношений:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3, \tag{3}$$

где $R_1 = \{ПКП \leftrightarrow (ПО, ПИ, ППР, БДЗ); ПИ \leftrightarrow ПО; ППР \rightarrow ОУ; ОУ \rightarrow ПИ\}$ – множество горизонтальных (симметричных) отношений между выделенными подсистемами, включая взаимодействие с объектом управления (ОУ); R_2 – множество асимметричных (сетевых) отношений, осуществляемые назначенным агентом для получения внешних директив (распоряжений, установок) и формирования отчетов об их выполнении; R_3 – множество ассиметричных отношений между объектами (подсистемами) функциональной среды АИУС и ИА (объектами) BDI – архитектуры, обеспечивая «осознанный» выбор действий, реализуя выбранный план или сценарий действий.

Возможные варианты технологического взаимодействия на базе агентного представления укладывается в логику выражения (2) и могут быть формализованы в виде следующего кортежа:

$$Int = \langle A, Pr \rangle, \tag{4}$$

где Int – взаимодействие (interaction) агентов из множества A ; Pr – множество программ (стандартов) взаимодействия между агентами, реализуя, подход, представленный на рис. 2;

$$Pr = (Com, \pi), \tag{5}$$

где Com – множество коммуникативных действий между ИА и агентами выделенных подсистем

$$Com = (A_{BDI} \leftrightarrow \Phi\{ПО, ПИ, ППР, БДЗ, ПКП\}).$$

⁵ ГОСТ Р 59853–2021. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. (Введен. 2022–01–01).

Здесь A_{BDI} – подмножество BDI- агентов; π – протоколы типовых действий (запись информации, копирование данных, передача данных, отображение и др.).

BDI – подход позволяет реализовать управление действиями ИА на основе знаний, полученных в результате рассуждений или в оперативной обстановке по результатам текущего мониторинга, например, целей противника или охраняемого объекта. В этом случае ИА принимает решение о перераспределении целей между участниками группы агентов (MAC), сообщая полученные координаты целей, или выполняет целевую задачу сам. Типичный процесс рассуждения в BDI – подходе состоит из следующих шагов: 1) выбор плана, соответствующего цели; 2) выбор плана, соответствующего убеждениям; 3) выбор плана с наивысшим приоритетом / наибольшей полезностью,

который после этого становится намерением; 4) выполнение последовательности действий выбранного плана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предлагаемый подход к формированию многоагентной систем на базе интеллектуальных агентов в информационных системах управления сложными динамическими объектами сочетает в себе достоинства подходов MAC и объектов с BDI – архитектурой, что является перспективным инструментом для отработки задач целевого применения, моделирования действий для выработки требований на этапе проектирования и разработки новых автономных систем, расширяя диапазон таких жизненно важных свойств автономности, как самоорганизация, адаптивность, отказоустойчивость и другие.

Список использованных источников и литературы

1. Оценка и оптимизация качества мониторинга территориально-распределенных объектов, проводимого с помощью беспилотных летательных аппаратов / М.И. Ломакин, А.В. Докукин, О.Ю. Сланчак [и др.] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 3 (67). С. 39–42.
2. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Оценка качества беспилотных авиационных систем мониторинга окружающей среды // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2017. № 6 (40). С. 4.
3. Дао Ч.Н., Парамонов А.И. Анализ структуры сетей связи на базе беспилотных летательных аппаратов // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2016): материалы XIX международной научной конференции: в 3 т., Москва, 21–25 ноября 2016 года / Под общ. ред. В.М. Вишневецкого и К.Е. Самуйлова. Т. 3. – М.: РУДН, 2016. – С. 92–100.
4. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 199–202.
5. Каляев И.А., Капустян С.Г., Усачев Л.Ж. Метод решения задачи распределения целей в группе БЛА сетевцентрической системой управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 12 (185). С. 55–70.
6. Халимов Н.Р., Мефедов А.В. Распределенная сетевцентрическая система управления группой ударных беспилотных летательных аппаратов // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 3. С. 1–13. <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2019-10301>
7. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Прикладные аспекты автоматизации управления летающими роботами // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2015. № 6 (28). С. 2.
8. Городецкий В.И. Поведенческие модели киберфизических систем и групповое управление: основные понятия // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 1 (203). С. 144–162. – <https://doi.org/10.23683/2311-3103-2019-1-144-162>
9. Бурый А.С., Фомичев И.Д. Мультиагентные модели управления группами автономных летательных аппаратов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2013. № 2 (12). С. 6.
10. Кулинич А.А. Модель командного поведения агентов в качественной семиотической среде. Часть 1. Качественная среда функционирования. Основные определения и постановка задачи // Искусственный интеллект и принятие решений. 2017. № 3. С. 38–48.
11. Ровбо М.А., Овсянникова Е.Е. Методы локального планирования поведения агентов с BDI-архитектурой // Искусственный интеллект и принятие решений. 2019. № 1. С. 74–86. – <https://doi.org/10.14357/20718594190107>
12. Бурый А.С., Усцелемов В.Н. Информационная безопасность автоматизированных систем // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 2 (72). С. 31–37.
13. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.

14. Маслобоев А.В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12, № 1. С. 113–124.
15. Herrera M. et al. Multi-agent systems and complex networks: Review and applications in systems engineering // Processes. 2020. Vol. 8. № 3. С. 312.
16. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные структуры умного города на основе киберфизических систем // Правовая информатика. 2022. № 4. С. 15–26. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-4-15-26>
17. Локация мобильного робота с использованием структурного анализа изображений / М.И. Евстигнеев, Ю.В. Литвинов, В.В. Мазулина, М.М. Чашина // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 9. С. 858–862.
18. Самигулина Г.А., Самигулина З.И. Разработка когнитивных агентов для Smart системы управления // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2019. № 4 (14). С. 39–43.

FORMATION OF UNMANNED SYSTEMS BASED ON HYBRID ARCHITECTURES OF INTELLIGENT AGENTS

Shevkunov M.A., candidate for a degree, Russian Standardization Institute

Based on the methods of system analysis, conceptual and logical modeling, formal and logical development and justification of the structures of distributed information and control systems, the analysis of elements and subsystems of decomposed control circuits of unmanned objects is carried out. To ensure the properties of autonomy, adaptability, stability of functioning, as well as in the construction of practical models of unmanned objects, it is proposed to use the apparatus of intellectual agents of a hybrid structure based on BDI architecture (Beliefs – desires – intentions). It is shown that it is advisable to use a single multi-agent approach in the formation of unmanned systems, both at the level of the control object and at the level of the automated information and control system (AICS), providing intellectual support in the performance of target tasks. It is proposed at the AICS level to provide information integration of coordination and planning subsystems, information processing with a database and knowledge to adjust plans and scenarios during target management.

Keywords: automated information and control system, unmanned object, intelligent agent, multi-agent system, BDI architecture.

References

1. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Slanchak O.Yu. [et al.] Otsenka i optimizatsiya kachestva monitoringa territorial'no-raspredelennykh ob"ektov, provodimogo s pomoshh'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov. Informatsionno-ehkonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, no. 3 (67), pp. 39–42. (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Otsenka kachestva bespilotnykh aviatsionnykh sistem monitoringa okruzhayushhej sredy. Informatsionno-ehkonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2017, no. 6(40). P. 4. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Dao CH.N., Paramonov A.I. Analiz struktury setej svyazi na baze bespilotnykh leta-tel'nykh apparatov. Raspredelennye komp'yuternye i telekommunikatsionnye seti: upravlenie, vychislenie, svyaz' (DCCN-2016): materialy XIX-j mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii: v 3 tomakh, Moskva, 21–25 noyabrya 2016 goda. Pod obshhej redaktsiej V.M. Vishnevskogo i K.E. Samujlova. Vol. 3. Moscow, RUDN publ., 2016, pp. 92–100.
4. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Podkhod k postroeniyu sistem podderzhki prinyatiya reshenij pri upravlenii bespilotnymi letatel'nymi apparatami. Transportnoe delo Rossii, 2015, no. 6, pp. 199–202. (In Russ., abstr. in Engl.).
5. Kalyaev I.A., Kapustyan S.G., Usachev L.ZH. Metod resheniya zadachi raspredeleniya tselej v gruppe BLA setetsentricheskoy sistemoy upravleniya. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki, 2016, no. 12(185), pp. 55–70.
6. Khalimov N.R., Mefedov A.V. Raspredelennaya setetsentricheskaya sistema upravleniya gruppoj udarnykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov. Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti, 2019, no. 3, pp. 1–13. <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2019-10301>
7. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Prikladnye aspekty avtomatizatsii upravleniya letayushchimi robotami. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2015, no. 6(28). P. 2. (In Russ., abstr. in Engl.).
8. Gorodeckij V.I. Povedencheskie modeli kiberfizicheskikh sistem i gruppovoe upravlenie: osnovnye ponyatiya. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki, 2019, no. 1(203), pp. 144–162. <https://doi.org/10.23683/2311-3103-2019-1-144-162>
9. Buryi A.S., Fomichev I.D. Mul'tiagentnye modeli upravleniya gruppami avtonomnykh letatel'nykh apparatov. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2013, no. 2(12). P. 6. (In Russ., abstr. in Engl.).
10. Kulinich A.A. Model' komandnogo povedeniya agentov v kachestvennoj semioticheskoy srede. CHast' 1. Kachestvennaya sreda funkcionirovaniya. Osnovnye opredeleniya i postanovka zadachi. Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij, 2017, no. 3, pp. 38–48.
11. Rovbo M.A., Ovsyannikova E.E. Metody lokal'nogo planirovaniya povedeniya agentov s BDI-arhitekturoj. Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij, 2019, no. 1, pp. 74–86. <https://doi.org/10.14357/20718594190107>

12. Buryi A.S., Uscelemov V.N. Informacionnaya bezopasnost' avtomatizirovannyh sistem. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2023, no. 2(72), pp. 31–37. (In Russ., abstr. in Engl.).
13. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnyh sistem k intellektual'nym organizaciyam: filosofiya, psihologiya, informatika. Moscow, Editorial URSS publ., 2002, 352 p. (In Russ.)
14. Masloboev A.V. Gibridnaya arhitektura intellektual'nogo agenta s imitacionnym apparatom. Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2009, vol. 12, no. 1, pp. 113–124.
15. Herrera M., Pérez-Hernández M., Kumar Parlikad A., Izquierdo J. Multiagent systems and complex networks: Review and applications in systems engineering. Processes, 2020, 8(3), 312. <https://doi.org/10.3390/pr8030312>. (In Engl.).
16. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Informacionnye struktury umnogo goroda na osnove kiberfizicheskikh sistem. Pravovaya informatika, 2022, no. 4, pp. 15–26. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-4-15-26> (In Russ., abstr. in Engl.).
17. Evstigneev M.I., Litvinov Yu.V., Mazulina V.V., Chashchina M.M. Lokaciya mobil'nogo robota s ispol'zovaniem strukturnogo analiza izobrazhenij. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie, 2017, vol. 60, no. 9, pp. 858–862. (In Russ., abstr. in Engl.).
18. Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Razrabotka kognitivnyh agentov dlya Smart sistemy upravleniya. ITNOU: Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii, 2019, no. 4 (14), pp. 39–43. (In Russ., abstr. in Engl.).