

# КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

## COMPUTER ENGINEERING AND SOFTWARE

Научная статья  
УДК 621.791  
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-4-35-41>  
EDN DOTFKB

### Агентно-ориентированный подход к проектированию гибких производственных систем

---

*Агил Гамид Гусейнов<sup>✉</sup>, Мехрибан Рашид Салимова*

*Сумгаитский государственный университет,  
Сумгаит, Республика Азербайджан, [cavan62@mail.ru](mailto:cavan62@mail.ru)<sup>✉</sup>*

---

**Аннотация.** Анализируется процесс проектирования модулей гибкого производственного участка с помощью многоагентной технологии. Для основательной организации процесса проектирования предлагается алгоритм интеллектуального автоматизированного проектирования сложных технических систем на примере гибких производственных систем (ГПС). Отмечается, что процесс исследования на этапах концептуального проектирования ГПС осуществляется за счет сбора прототипных вариантов с применением экспертных знаний с взаимодействием агентов-проектировщиков по методике самореализующей рабочей технологии систем автоматизированного проектирования. Рассматривается вопрос построения распределенной системы интеллектуального проектирования гибридной архитектуры с применением особенностей агентной технологии. В качестве объекта проектирования выбрана ГПС, которая является сложным техническим объектом исследования, а процесс ее проектирования представляет собой многоэтапный итерационный процесс. С целью проектирования таких систем на основе общей функциональной модели на начальном этапе определяется комплекс вопросов с целью облегчения процесса автоматизированного проектирования ГПС. При таком подходе процесса проектирования ГПС поставлены требования по реализации решений большого количества локальных вопросов различного назначения. Для решения локальных вопросов проектных процедур предлагается применение мультиагентной технологии проектирования, где агент-проектировщик выполняет конкретную локальную задачу процесса проектирования. Разработанные формализмы и алгоритмы позволяют автоматизировать процесс синтеза технических объектов ГПС. Для построения автоматизированной системы концептуального проектирования в качестве основного принятия решения многоагентных систем предлагается техническое решение, основанное на знаниях интеллектуальных многоагентных систем. Использование многоагентной системы позволяет построить распределенную систему параллельного проектирования с возможностью переноса на различные аппаратно-программные платформы. Также предлагается структура многоагентной системы для интеллектуального автоматизированного проектирования на основе базы знаний проектировщика.

**Ключевые слова:** гибкая производственная система, агентная технология, автоматизированное проектирование, база знаний, система автоматизированного проектирования

**Для цитирования:** *Гусейнов А. Г., Салимова М. Р.* Агентно-ориентированный подход к проектированию гибких производственных систем // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 4. С. 35–41. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-4-35-41>. EDN DOTFKB.

## Agent-based approach to designing flexible manufacturing systems

Agil H. Huseynov<sup>✉</sup>, Mehriban R. Salimova

Sumgait State University,  
Sumgait, Republic of Azerbaijan, cavan62@mail.ru<sup>✉</sup>

**Abstract.** The article considers the process of designing modules of a flexible production site using multi-agent technology. For a comprehensive organization of the design, there has been proposed an algorithm of intelligent automated design of the complex technical systems, flexible manufacture systems (FMS) being used as an example. It has been stated that the research at the stages of the conceptual design of the FMS is carried out by collecting prototype variants with using expert knowledge and interaction of agents-designers according to the method of self-realizing computer aided design. Building a distributed system for the intelligent design of a hybrid architecture using the features of agent technology is considered. A flexible manufacture system is chosen as a design object, which is a complex technical object of research, the process of its design is multi-stage and iterative. To design such systems using a common functional model at the initial stage, a set of tasks is defined to facilitate the computing design of the FMS. This approach to the design of FMS requires implementing the solutions of a large number of local problems of different purposes. To solve the local problems of design procedures there has been proposed a multi-agent design technology, where the agent-designer performs a specific local task of the design process. The developed formalisms and algorithms help automate the synthesis of technical objects of the FMS. To build an automated conceptual design system as main decision-making for the multi-agent systems, there has been proposed a technical solution based on the knowledge of intelligent multi-agent systems. Using a multi-agent system makes it possible to build a distributed parallel design system with ability to be transferred to various hardware and software platforms. There has been also proposed the structure of a multi-agent system for the intelligent computer-aided design based on the designer's knowledge base.

**Keywords:** flexible manufacturing system, agent technology, computer-aided design, knowledge base, computer aided design system

**For citation:** Huseynov A. H., Salimova M. R. Agent-based approach to designing flexible manufacturing systems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2022;4:35-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-35-41>. EDN DOTFKB.

### Введение

В настоящее время интерес к распределенным приложениям и системам в сфере информационных технологий стремительно растет. Это связано с совместным применением компьютерных сетей для совершенствования технической базы предприятий и повышения эффективности работы, а также с распространением и популярностью всемирной компьютерной сети Интернет. Более широкое использование знаний посредством обмена в таких сетях выводит содержание информационных ресурсов сетей на новый принципиальный уровень, создавая широкие возможности для обмена и совместного использования знаний в компьютерных сетях [1]. Одним из важнейших факторов построения систем, основанных на знаниях, является возможность их интеграции с традиционными информационными системами и совместное использование императивных и объектно-ориентированных компонентов программирования для интеллектуального представления знаний.

Таким образом, представляется актуальной разработка методологии построения распределенных систем в базе данных информационного описания знаний [2]. В связи с этим относительно широкое распространение в области распределенного ис-

кусственного интеллекта [3] получили мультиагентные технологии [4], в которых интеллект системы достигается в результате взаимодействия множества автономных агентов.

В статье также рассматривается вопрос построения распределенной системы интеллектуального проектирования гибридной архитектуры с особенностью архитектуры агента. Гибкая производственная система (ГПС), выбранная в качестве объекта проектирования, представляет собой сложную техническую систему, а процесс ее проектирования – многостадийный итеративный процесс. Следовательно, для проектирования таких систем стратегия проектирования должна быть определена на предпроектных этапах, т. е. необходимо разделить проектный вопрос на части и разработать их обобщенные планы решения.

### Решение задачи

Вопросы детального проектирования, в свою очередь, состоят из разных уровней проектирования, которые в общем виде можно записать следующим образом. Обозначим уровни детализации через  $S$ . Предположим, что  $N^s$  – количество уровней детализации проекта, а  $N_i^s$  – количество опе-

раций детализации на  $i$ -м уровне проектирования. Тогда

$$S_i = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{iN_i^s}\}, i = 1, 2, \dots, N^s;$$

$$L = \{S_{ij}\}_{j=1, 2, \dots, N_i^s}^{i=1, 2, \dots, N^s}.$$

Следует отметить, что автоматизированное проектирование ГПС на основе общей функциональной модели в основном состоит из решения следующих комплексных вопросов:

1. Определение структуры ГПС или ее структурное моделирование.
2. Поиск и выбор инструментальных средств, технологических оборудований, стандартных устройств и т. д., составляющих ГПС.
3. Разработка системы управления ГПС и входящих в нее различных подсистем и определение необходимых для них средств.
4. Автоматизированное проектирование нестандартных узлов и деталей, входящих в состав ГПС или вновь изготавливаемых с целью адаптации ее к существующему технологическому процессу.

Процесс решения каждого из вышеперечисленных вопросов проектирования ГПС разрабатывается сверху вниз как многоуровневый процесс проектирования, т. е. из синтеза общих проектных требований первого уровня получается детализация проектных условий последующих уровней [5]. Следовательно, решение, принятое в процессе проектирования  $\{R_i^{k-1}\}$  на  $(k-1)$  уровне, является дополненными входными данными для процесса проектирования, выполняемого на  $k$ -м уровне;

$$dk : \{R_0, R_i^{k-1}\} \rightarrow \{R_{ij}^k\},$$

где  $R_0$  входные данные (спецификация).

Кроме последнего, на каждом уровне проектирования отбирается ряд эффективных вариантов, которые впоследствии развиваются и считаются специальными:

$$F_i: \{R_i^{k-1}\} \rightarrow \{R_{ij}^k\},$$

где  $F_i$  – функция для выбора эффективного варианта проекта.

Анализ процесса проектирования ГПС и проведенные исследования показывают, что в процессе ее проектирования задействовано большое количество локальных задач разного характера, и каждая из них может быть решена разноцелевым агентом (экспертом или программным компонентом), ответственным за решение поставленного вопроса.

Таким образом, мы приняли схему качества базовой организации процесса проектирования, в которой результаты решения задач зависят от синтеза локальных решений с помощью согласо-

вания данных, передаваемых между агентами. Рассмотренная схема считается правильной как при использовании конструкторами традиционных компонентов *computer aided design* (CAD) систем автоматизированного проектирования (САПР), так и при использовании автономных интеллектуальных компонентов при решении отдельных задач и состоит из следующих этапов:

Шаг 1. Каждому агенту передаются знания предметной области и ограничения (требования пользователей, новые артефакты).

Шаг 2. На основе общего информационного пространства каждый агент решает задачу оптимизации.

Шаг 3. Локальные оптимальные решения передаются главному (управляющему) агенту проекта для их проверки.

Шаг 4. После систематического сбора результатов подозрительные результаты подготавливаются с использованием CAD систем для анализа заинтересованными агентами.

Шаг 5. Весь процесс проектирования повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто глобальное согласованное решение.

Эта технология позволяет строить распределенные решатели для решения сложных задач; динамически изменять архитектуру САПР в зависимости от какой-либо проблемы; организовывать встречное влияние агентов, работающих над разными аспектами проектирования на уровне знаний.

Технология агентов – одна из основных концепций в области интеллекта и информатики современной эпохи, которая в корне меняет принципы построения сложных компьютерных систем и правила концептуализации [6].

Технологические аспекты организации многокомпонентных распределенных САПР применяются на основе концепции параллельного проектирования при разработке методики проектирования. В рамках данного подхода необходимо интегрировать существующие компоненты, каждый из которых состоит из нескольких программ и разрабатывался без учета необходимости их дальнейшей интеграции.

В рамках проекта осуществляется разработка интерфейсов, протоколов и структур, а также обмен знаниями между подсистемами. Каждая из них предусматривает свои формы описания, процесс организации согласованных решений и механизмы получения логических результатов. Это считается главной особенностью параллельного проектирования.

Каждая подсистема предназначена для решения вопросов проектирования гибких производственных систем с разных точек зрения. В процессе взаимосвязи подсистем ГПС организуется в условиях ограничения. Важно отметить необходимость разделения проектируемой общей модели на подсистемы взаимодействия элементов декомпозируемого проекта. Эта модель основана на адаптированной антологии терминов и их сущности. Следу-

ет отметить, что она сильно отличается от описания объектов в обычных САПР. В целях повышения эффективности решения какой-либо задачи проектирование отдельных инструментов проектировщиков носит специализированный характер. В результате каждый инструмент имеет свою определенную модель изображения. Сюда же добавляется необходимость регулярного внесения изменений в проект. В процессе параллельного проектирования изменения необходимо вносить в режиме реального времени, и получается, что любая единая база данных о проекте является ос-

новным компонентом такой архитектуры. В этом случае основой системной интеграции считается концептуальное знание, описываемое в виде множества взаимосвязанных автономных агентов, обладающих локальной базой знаний об аспектах и проблемах проектирования.

Для организации и программирования дизайнерских агентов предлагается шаблон агента с трехуровневой структурой (рис. 1): начальное и текущее состояние агента, поведение агента и коммуникационные ресурсы агента.

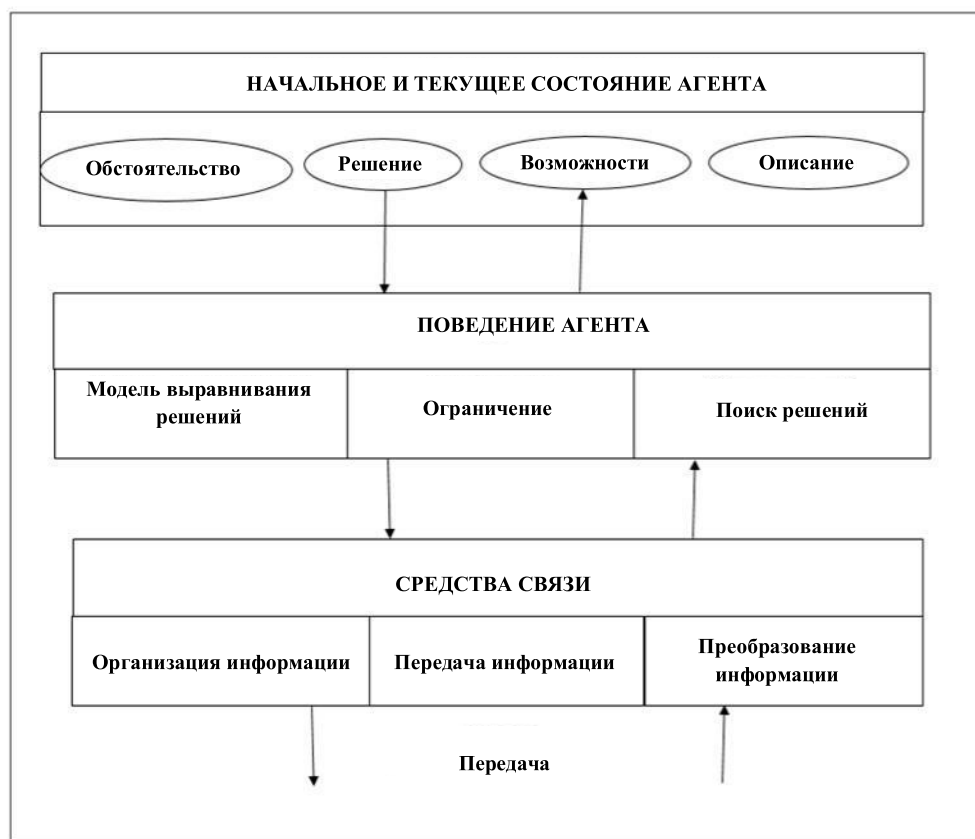


Рис. 1. Структура шаблона агента-проектировщика

Fig. 1. Structure of agent-designer template

На уровне ментального состояния агента базовый класс «Интеллектуальный агент» обеспечивает управление знаниями, правила ответственности, возможности, описания и механизм принятия решений. На уровне поведения агента класс «Реактивный агент» обеспечивает расчет правил, обязательств, поиск решений на основе модели, удовлетворяющей ограничениям. На уровне класса «Агент связи» хранятся взаимодействия агента с другими компонентами системы. С одной стороны, планомерное развитие информационных технологий, с другой – уровень сложности и постоянная модификация проектируемой технической системы приводят к необходимости обеспечения

проектировщиками возможности добавления свойств и компонентов в архитектуру САПР. В настоящее время им необходимо использовать технологию распределенных объектов. Однако, как видно, условия повторного использования компонентов недостаточны. Поэтому использование агентно-ориентированной архитектуры в рамках САПР считается целесообразным. Агенты обеспечивают динамическую связь и взаимодействие, используя стандартные интерфейсы и форматы данных.

Опыт, полученный при использовании прототипов на этапе концептуального проектирования исследовательского процесса и производственных

процессов, показывает, что взаимодействие агентов на уровне знаний является перспективной технологией разработки комплексной САПР, а возможность гибкой интеграции компонентов обеспечивает использование существующих программных комплексов.

Превосходство системы проектирования с агентной архитектурой объясняется следующими ее характеристиками:

- разработка на основе агентной технологии, обеспечивающей интеграцию распределенных объектов и компонентов;
- использование информационной семантики на уровне знаний, организация взаимодействия на основе спецификаций;

– использование реестров уникальных имен агентов и предоставляемых ими услуг в рамках функциональной спецификации системы;

– возможность разработки и расширения агента функциональной базой.

Из анализа вышеизложенного можно прийти к выводу, что взаимосвязь агентов на уровне знаний для проектирования ГПС дает большие преимущества для создания сложной многокомпонентной программной САПР. Агентно-ориентированная архитектура многокомпонентной САПР ГПС представлена на рис. 2.

Huseynov A. N., Salimova M. R. Agent-based approach to designing flexible manufacturing systems

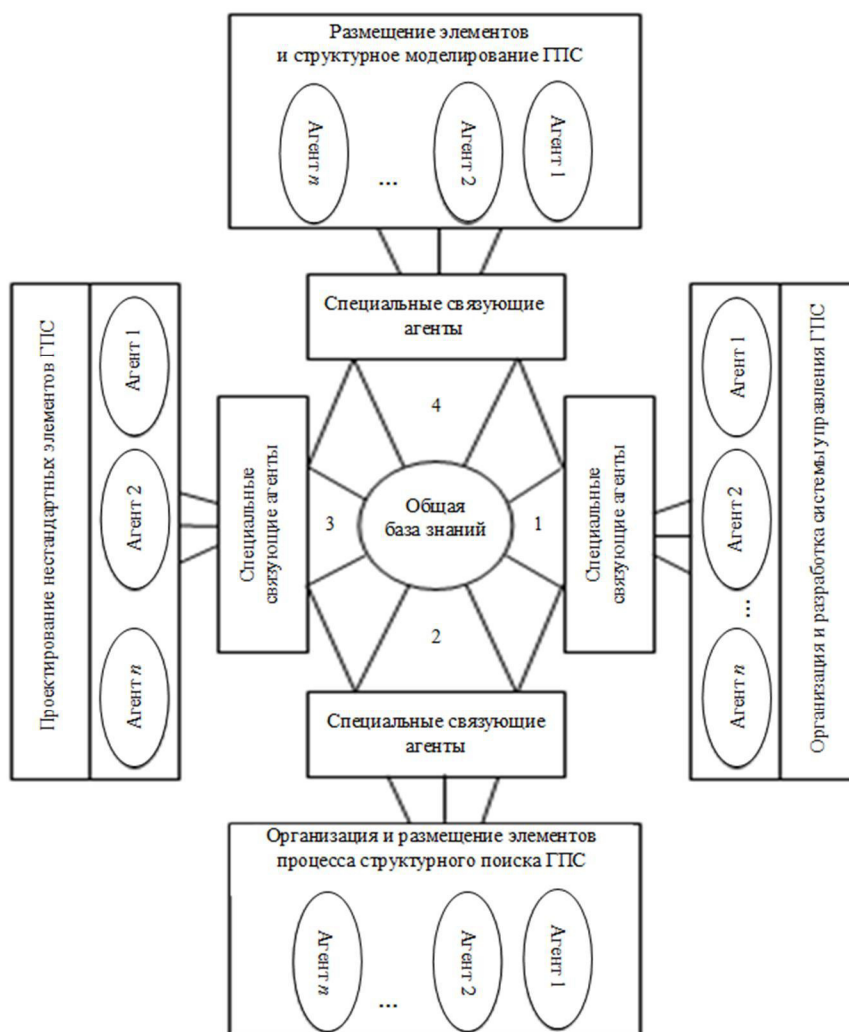


Рис. 2. Архитектура агентно-ориентированной многокомпонентной САПР:

- 1 – база знаний для организации системы управления;
- 2 – специальная база знаний для организации процесса поиска;
- 3 – база знаний для автоматизированного проектирования;
- 4 – база знаний для размещения элементов и моделирования

Fig. 2. Architecture of agent-oriented multi-component CAD:

- 1 – knowledge base for organizing the control system;
- 2 – a specialized knowledge base for organizing a search;
- 3 – knowledge base for computer-aided design;
- 4 – knowledge base for placing the elements and modeling

Как видно из архитектуры, для организации обработки контекста данных между упомянутыми выше подсистемами могут использоваться специальные коммуникационные агенты, которые анализируют суть информации по маршрутам, по агентам с соответствующими знаниями или интересами.

Коммуникационные агенты (фасилитаторы) состоят из агентов, расположенных между процессами, которые отправляют и получают информацию и выполняют стандартные интерфейсные эффекты, интеграцию информации, полученной из различных источников, преобразование запросов и ответов.

Новые информационные системы, не обладающие гибкостью преобразования средств ввода-вывода, дают обратный эффект за счет использования фасилитаторов, осуществляющих описание знаний при интеграции с существующими системами. Таким образом, каждый агент приходит к логическому заключению в собственном внутреннем формате изображения, получает и передает информацию через фасилитаторов в понятной агентам форме.

Каждый фасилитатор отвечает за обеспечение интерфейсов между локальными группами агентов

и удаленными агентами и решает четыре основные задачи:

1. Обеспечивает надежный механизм передачи данных.
2. Направляет информацию о пункте назначения.
3. Преобразует входные данные в соответствующий формат.
4. Контролирует агентов.

### Заключение

С целью ускорения и повышения производительности процесса автоматизированного проектирования предлагается технология параллельного проектирования. В соответствии с поставленной целью в процессе параллельного проектирования требуется решение множества локальных проектных задач, которые требуют применения мультиагентной технологии. В связи с этим предлагается архитектура агентно-ориентированной многокомпонентной САПР. Разработан алгоритм процесса проектирования применения агентной технологии.

### Список источников

1. Смирнов А. В., Юсупов Р. М. Технология параллельного проектирования: основные принципы и проблемы внедрения // Автоматизация проектирования. 1997. № 2. С. 50–55.
2. Смирнов А. В. Исследование алгоритмической модели технологического синтеза гибких производственных систем. Л.: Наука, 1998. С. 73–85.
3. Intelligent Agent-Theories, Architectures, and languages // Lecture Notes in Artificial Intelligence / eds. M. Wooldridge, N. R. Jennings. Springer-Verlag, 1995. V. 890. P. 289.
4. Intelligent Agent Lecture Notes in Artificial Intelligence / eds. M. Wooldridge, J. P. Mueller, M. Tambe. Springer-Verlag, 1996. V. 1037. 356 p.
5. Serrano D. Constraint – Based Concurrent Design // Systems Automation: Research & Applications. 1991. V. 1. N. 3. P. 217–230.
6. Freeman F. H. An Agent – Oriental Programming Architecture For Multi-Agent Constraint Satisfaction Problem // 2<sup>nd</sup> International IEEE Conference on Tools for Artificial Intelligence: Proceedings. 1990. P. 830–840.
7. Смирнов А. В., Шереметов Л. Б. Многоагентная технология проектирования сложных систем // Автома-

тизация проектирования. 1998. № 3. URL: <https://www.osp.ru/ap/1998/03/13031692> (дата обращения: 17.06.2022).

8. Huseynov A. H. Agent technology at computing option of flexible manufacture system element and composed structure // Advanced Mathematical Models and Applications. 2016. V. 1. N. 1. P. 20–27.

9. Радченко И. А. Интеллектуальные мультиагентные системы: учеб. пособие. СПб.: Изд-во БГТУ, 2006. 88 с.

10. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.

11. Mammadov C. F., Huseynov A. H., Hasanova Y. M., Salimova M. R. Algorithmic and mathematical support for topology research of the corporative networks // Advanced mathematical models & applications. 2022. V. 7. N. 1. P. 85–92.

12. Huseynov A. H., Mammadov J. F. Application of agent technology at computing option of flexible manufacture system element and composes structure // International science-practical conference Science, Technology and Higher Education (Canada, 11-12 December). 2012. P. 454–460.

### References

1. Smirnov A. V., Iusupov R. M. Tekhnologiya paralelnogo projektirovaniia: osnovnye printsipy i problemy vnedreniia [Parallel design technology: basic principles and implementation problems]. *Avtomatizatsiia projektirovaniia*, 1997, no. 2, pp. 50-55.
2. Smirnov A. V. *Issledovanie algoritmicheskoi modeli tekhnologicheskogo sinteza gibkikh proizvodstvennykh sistem* [Investigation of algorithmic model of technological synthesis of flexible production systems]. Leningrad, Nauka Publ., 1998. Pp. 73-85.

3. *Intelligent Agent-Theories, Architectures, and languages. Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Eds. M. Wooldridge, N. R. Jennings. Springer-Verlag, 1995. Vol. 890. P. 289.

4. *Intelligent Agent Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Eds. M. Wooldridge, J. P. Mueller, M. Tambe. Springer-Verlag, 1996. Vol. 1037. 356 p.

5. Serrano D. Constraint – Based Concurrent Design. *Systems Automation: Research & Applications*, 1991, vol. 1, no. 3, pp. 217-230.

6. Freeman F. H. An Agent – Oriental Programming Architecture For Multi-Agent Constraint Satisfaction Problem. *2nd International IEEE Conference on Tools for Artificial Intelligence: Proceedings*, 1990, pp. 830-840.
7. Smirnov A. B., Sheremetov L. B. Mnogoagentnaia tekhnologiya proektirovaniia slozhnykh sistem [Multi-agent technology for designing complex systems]. *Avtomatizatsiia proektirovaniia*, 1998, no. 3. Available at: <https://www.osp.ru/ap/1998/03/13031692> (accessed: 17.06.2022).
8. Huseynov A. H. Agent technology at computing option of flexible manufacture system element and composed structure. *Advanced Mathematical Models and Applications*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 20-27.
9. Radchenko I. A. *Intellektual'nye mul'tiagentnye sistemy: uchebnoe posobie* [Intelligent multi-agent systems: textbook]. Saint-Petersburg, Izd-vo BGTU, 2006. 88 p.
10. Tarasov V. B. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiiam: filosofiiia, psikhologiiia, informatika* [From multi-agent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, informatics]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2002. 352 p.
11. Mammadov C. F., Huseynov A. H., Hasanova Y. M., Salimova M. R. Algorithmic and mathematical support for topology research of the corporative networks. *Advanced mathematical models & applications*, 2022, vol. 7, no. 1, pp. 85-92.
12. Huseynov A. H., Mammadov J. F. Application of agent technology at computing option of flexible manufacture system element and composed structure. *International science-practical conference Science, Technology and Higher Education (Canada, 11-12 December)*, 2012, pp. 454-460.

Статья поступила в редакцию 20.09.2022; одобрена после рецензирования 30.09.2022; принята к публикации 11.10.2022  
The article is submitted 20.09.2022; approved after reviewing 30.09.2022; accepted for publication 11.10.2022

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

**Агил Гамид Гусейнов** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой информационных технологий и программирования; Сумгаитский государственный университет; [aqil.55@mail.ru](mailto:aqil.55@mail.ru)

**Agil H. Huseynov** – Doctor of Sciences in Technology, Professor; Head of the Department of Information Technologies and Programming; Sumgait State University; [aqil.55@mail.ru](mailto:aqil.55@mail.ru)

**Мехрибан Рашид Салимова** – ассистент кафедры информационных технологий и программирования; Сумгаитский государственный университет; [mehriban\\_mr@mail.ru](mailto:mehriban_mr@mail.ru)

**Mehriban R. Salimova** – Lecturer of the Department of Information Technologies and Programming; Sumgait State University; [mehriban\\_mr@mail.ru](mailto:mehriban_mr@mail.ru)

