

# Архитектура распределенной мультиагентной системы управления активным энергетическим комплексом

А.Е. Жаворонков<sup>1</sup>, К.А. Аксенов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Мира, 19, Екатеринбург, Россия, 620002

## Аннотация

В работе приведена схема взаимодействия программных интеллектуальных агентов, используемых при построении распределённой системы управления активным энергетическим комплексом. Показан пример диаграммы принятия решений. Обосновывается мультиагентная структура построения системы управления. Даны рекомендации по применению фреймворков проектирования мультиагентных систем. В качестве приоритетного рассматривается спецификация FIPA-ACL.

## Ключевые слова

Microgrid, Активный энергетический комплекс, мультиагентные системы, распределённое управление, диаграмма поиска решения, FIPA-ACL

## 1. Введение

В настоящее время в России принято постановление Правительства от 04.05.2012 N 442, которое запускает пилотный проект по созданию Активных энергетических комплексов (далее – АЭК) – аналогично международному понятию «Microgrid», - локальные распределённые энергосистемы, содержащие генерирующие объекты: мини-электростанции, в том числе, на основе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, сетевые накопители энергии, управляемую нагрузку [1]. Функции, которые должны быть реализованы в АЭК установлены законодательно и включают, в том числе, функции управления реального времени, которые предъявляют высокие требования к системам управления, например, автоматическое выделение комплекса на изолированную работу при понижении частоты, вычисление доли превышения над разрешенной мощностью для каждого участника комплекса и др.[2] Такая система управления также осуществляет экономические функции: прогноз потребления, интеллектуальное управление нагрузкой, экономическая оптимизация потоков энергии, ведение «торгов» между участниками рынка о цене электроэнергии.

Актуальным является создание наиболее эффективных интеллектуальных систем управления микрогридами (АЭК). В российской инженерной практике отсутствует опыт эксплуатации подобных систем.

## 2. Мультиагентные системы управления в электроэнергетике

В мировой практике для построения микрогридов широко зарекомендовали себя мультиагентные системы управления (МАС), которые являются фреймворком для построения систем, объединяющих различные техники искусственного интеллекта. Существует множество работ в последнее десятилетие, обосновывающих эффективность их применения [3, 4, 5]. Агенты могут реализовывать алгоритмы машинного обучения, сложные правила взаимодействия, различные техники оптимизации, например, алгоритмы оптимизации роя частиц. Таким образом реализуется распределённый искусственный интеллект системы управления.[6]

Основу межагентного взаимодействия составляет стек спецификаций FIPA ACL. В настоящее время мировым стандартом в области МАС являются документы FIPA – Foundation for Intelligent Agents'[7]. Спецификации коммуникации агентов FIPA касаются сообщений

языка коммуникации агентов (ACL), протоколов взаимодействия обмена сообщениями, основанных на теории речевых актов коммуникативных актов и языковых репрезентаций контента. Эталонная модель управления агентами FIPA определяет нормативную базу, в рамках которой агенты FIPA существуют и функционируют, устанавливает логическую эталонную модель для создания, регистрации, размещения, связи, миграции агентов.

Структура системы управления активным энергетическим комплексом, предложенная в [8] содержит программно-аппаратные агенты, реализующие функции управления и экономического взаимодействия, например, «переговоры» о цене электроэнергии. Настоящая работа уточняет и конкретизирует архитектуру построения МАС управления, дает примеры использования международных стандартов, в частности приведена «схема рассуждений» интеллектуального агента при принятии решений о дальнейших действиях. В работе дан пример мультиагентного взаимодействия в виде диаграммы последовательностей UML. Пример иллюстрирует процесс поведения локальной распределительной сети при возникновении аварийной ситуации и необходимости выделения комплекса на изолированную работу. Таким образом, возможна реализация широкого класса функций на основе предложенных решений.

### 3. Заключение

Наиболее эффективным способом построения интеллектуальных систем управления микрогридами является реализация мультиагентных систем. Возможна реализация широкого класса алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта. Показаны схемы взаимодействия агентов на примере возникновения аварийных ситуаций. Дано описание схемы рассуждений агентов при принятии решений. Необходима дальнейшая разработка интеллектуальных алгоритмов применительно к активным энергетическим комплексам для применения в России.

### 4. Литература

- [1] Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 (ред. от 29.12.2020) «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» (вместе с "Основными положениями / КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_130498/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498/) (дата обращения: 13.01.2021).
- [2] Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 30.06.2020 № 507. Официальное опубликование правовых актов. Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011020032> (дата обращения: 13.01.2021).
- [3] Tazi, K. Multi-agent system for microgrids: design, optimization and performance / K. Tazi, F. Abbou, F. Abdi // *Artificial Intelligence Review*. – 2020.
- [4] McArthur, S.D.J. Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications – Part II: Technologies, Standards, and Tools for Building Multi-agent Systems // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 2007. – Vol. 22(4). – P. 1753-1759.
- [5] Nehrir, H. Agent-Based Microgrid Power Management and Microgrid-based Resilient Distribution System / H. Nehrir, K. Dehghanpour // *IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*. Portland, OR, 2018. – P. 1-4.
- [6] Adewumi, A. An Intelligent Particle Swarm Optimization Model based on Multi-Agent System / A. Adewumi, G. Wajiga, B. Baha // *African Journal of Computing & ICT*. – 2013. – Vol. 6.
- [7] Available Specifications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fipa.org/specifications/index.html> (дата обращения: 13.01.2021).
- [8] Zhavoronkov, A.E. Application of multi-agent approach in the electric power control systems within the active energy complex / A.E. Zhavoronkov, O.P. Aksyonova // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2020. – Vol. 1694. – P. 012017.