

УДК 621.316.1.05

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Пушкарь Д.А. (ИТМО), Джусто Д. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Демидова Г.Л.
(ИТМО)

Введение. Современная энергетика активно переходит от централизованных систем к децентрализованным, где микросети и системы распределенной генерации играют ключевую роль, обеспечивая интеграцию возобновляемых источников энергии (ВИЭ), повышение надежности и автономности энергоснабжения. Например, распределенные системы управления энергией (EMS) предназначены для оптимизации работы микросетей с учетом сетей распределения электроэнергии и эксплуатационных ограничений. Такие системы используют распределенные стратегии управления для вычисления оптимальных параметров, обеспечивая эффективную и быструю сходимость к оптимальным рабочим настройкам [1]. Однако управление микросетями связано с рядом сложностей, таких как изменчивость генерации ВИЭ, нестабильность потребления и необходимость балансировки между экономической эффективностью и надежностью системы. Актуальность исследования обусловлена ростом внедрения ВИЭ и необходимостью повышения устойчивости энергосистем. Зарубежный и отечественный опыт, например проект «Сбер Сити», демонстрирует потенциал микросетей, но также выявляет ряд нерешенных задач. Цель работы — разработка и анализ методов управления микросетями, направленных на повышение их эффективности и устойчивости, с использованием современных подходов, включая агентный подход.

Основная часть. В данном исследовании с помощью математических моделей, которые проводились с использованием программного обеспечения MATLAB Simulink и агентного подхода решаются следующие задачи, связанные с управлением и оптимизацией микросетей:

Задачи управления энергетическими ресурсами в условиях динамических изменений нагрузки и внешних воздействий. Микросети, включающие фотоэлектрическую генерацию, системы хранения энергии (ESS), электромобили (EV) и различные профили нагрузки, требуют адаптивного управления для обеспечения стабильности и эффективности. В частности, моделирование учитывает такие внешние воздействия, как частичное затенение фотоэлектрических панелей, что приводит к изменению выработки энергии, а также переменные условия нагрузки, которые могут возникать из-за колебаний спроса на энергию в жилых и коммерческих секторах. Для решения этих задач используются алгоритмы управления на основе агентов, которые позволяют динамически адаптироваться к изменениям в режиме реального времени, обеспечивая баланс между спросом и предложением энергии [2].

Задачи оптимизации работы микросетей в условиях неопределенности, связанной с возобновляемыми источниками энергии и поведением пользователей. В частности, моделирование учитывает стохастический характер солнечной генерации, которая зависит от изменений инсоляции, а также различные профили зарядки электромобилей и электропотребления потребителей, которые могут варьироваться в зависимости от времени суток и поведения пользователей. Это особенно важно для обеспечения стабильности микросетей, интегрирующих переменные источники энергии, такие как солнечная и ветровая генерация.

Задачи второго типа можно разделить на две категории по характеру управления и взаимодействия между агентами:

Задачи, связанные с координацией работы различных агентов в микросети. В данном случае агенты, такие как агент солнечных панелей (SP), агент системы хранения энергии

(ESS), агент электромобилей (EV) и агент потребления, взаимодействуют между собой для оптимизации распределения энергии. Например, агент ESS управляет зарядкой и разрядкой аккумуляторов, учитывая текущие потребности сети и состояние заряда. Агент EV адаптирует графики зарядки электромобилей в зависимости от доступности энергии и спроса на сеть, используя технологию Vehicle-to-Grid (V2G). Такая координация позволяет минимизировать пиковые нагрузки и повысить общую эффективность системы.

Задачи, связанные с устойчивостью микросетей в условиях внешних возмущений и изменений топологии сети. В данном случае агент мониторинга играет ключевую роль, обеспечивая наблюдение за критическими параметрами, такими как напряжение шин, токи сети и перетоки мощности. Агент мониторинга также отвечает за обнаружение выхода параметров за граничные условия работы сети. Это особенно важно в условиях, когда микросеть работает в изолированном режиме (островном режиме), и необходимо обеспечить стабильность системы без подключения к внешней сети.

Выводы. В этой статье представлена подробная модельная структура для микросетей, включающая распределенные агенты для фотоэлектрической генерации, хранения энергии, электромобилей и управления нагрузкой. Используя MATLAB Simulink, модель фиксирует реалистичную динамику энергии и поведение пользователей, обеспечивая надежную основу для анализа работы микросетей в различных условиях. Реализация пользовательских профилей для хранения энергии и адаптивных ответов на внешние воздействия, такие как частичное затенение и изменение инсоляции, подчеркивает гибкость и надежность предлагаемой многоагентной системы.

Результаты моделирования подчеркивают эффективность распределенного управления на основе агентов в улучшении наблюдаемости, управляемости и надежности микросетевых систем. Ключевые показатели, включая общий баланс мощности микросети, состояние заряда накопителя и электромобилей, демонстрируют способность системы динамически балансировать спрос и предложение. Эта структура MAS повышает адаптивность микросетей, обеспечивая устойчивость к изменениям и эффективное управление энергией.

Будущие исследования будут сосредоточены на уточнении алгоритмов управления для оптимизации производительности микросетей в различных конфигурациях и сценариях эксплуатации. Кроме того, будут изучены динамические подходы на основе данных и топологически-специфические системы выбора оборудования для продвижения текущих стратегий оптимизации. Эти разработки еще больше укрепят экономическую и эксплуатационную эффективность микросетей, укрепляя их роль как краеугольного камня современного энергетического ландшафта.

Список использованных источников:

1. W. Shi, X. Xie, C. -C. Chu and R. Gadh, "Distributed Optimal Energy Management in Microgrids," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 6, no. 3, pp. 1137-1146, May 2015, doi: 10.1109/TSG.2014.2373150.
2. [2] W. Shi, N. Li, C. -C. Chu and R. Gadh, "Real-Time Energy Management in Microgrids," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 1, pp. 228-238, Jan. 2017, doi: 10.1109/TSG.2015.2462294.