

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОСЕТЯМИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА.

Пушкарь Д.А.¹, Джусто Д.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Демидова Г.Л.¹

¹Университет ИТМО

pushkar.daniil0@gmail.com

Введение

В данной работе представлен новый подход к управлению энергией микросетей, объединяющий методы градиентного бустинга (GBT) с архитектурой мультиагентных систем (MAS). Увеличение доли стохастических распределенных источников энергии, таких как солнечные панели, системы хранения и электромобили, требует гибких и масштабируемых стратегий управления [1]. В предлагаемой структуре GBT-MAS каждый агент, отвечающий за генерацию или потребление, использует высокоточные краткосрочные прогнозы, полученные с помощью моделей градиентного бустинга. Это позволяет агентам через децентрализованную координацию эффективно достигать глобальных целей, включая снижение эксплуатационных расходов и поддержание баланса мощности. Результаты тестирования на реальных данных подтверждают, что интеграция GBT в MAS обеспечивает более высокую точность прогнозирования по сравнению с традиционными методами (ARIMA, линейная регрессия), способствуя лучшему планированию ресурсов, устойчивости к сбоям связи и оптимизации ценовых категорий в управлении современными микросетями.

Основная часть

В данном исследовании с помощью разработанной архитектуры мультиагентной системы (MAS), усиленной методами машинного обучения, и итерационных алгоритмов координации решаются следующие задачи, связанные с управлением и оптимизацией микросетей:

Задачи управления энергетическими ресурсами в условиях высокой вариативности распределенной генерации и стохастического спроса. Микросеть, объединяющая агентов солнечной генерации (SPA), систем накопления (BESSA), электромобилей (EVA) и нагрузки (LA), требует проактивного подхода к диспетчеризации. В частности, моделирование учитывает необходимость снабжения каждого агента высокоточными краткосрочными прогнозами, полученными методом градиентного бустинга (GBT) [2].

Задачи оптимизации экономических показателей работы микросети с учетом сложной тарифной структуры и эксплуатационных ограничений. В частности, моделирование направлено на минимизацию глобальной функции стоимости, которая включает затраты на покупку электроэнергии, стоимость деградации аккумуляторов и штрафы за нарушение ограничений. Особое внимание уделяется динамическому переключению между ценовыми категориями (ЦК 1–6) на основе прогнозов нагрузки, что позволяет адаптировать потребление к рыночным условиям. Это критически важно для снижения операционных расходов и повышения устойчивости системы к неопределенности цен и генерации.

Задачи реализации децентрализованного управления можно разделить на две категории согласно разработанному итерационному алгоритму взаимодействия агентов:

Задачи, связанные с локальной оптимизацией и сетевым консенсусом. В данном случае процесс начинается с того, что каждый агент (i) решает задачу локальной минимизации затрат, рассчитывая оптимальную мощность на основе собственных

прогнозов GBT и текущих цен. Затем реализуется механизм обмена данными, где агенты передают информацию о невязках мощности и ценовых сигналах (множителях Лагранжа) только соседним узлам. Через алгоритм сетевого консенсуса происходит усреднение и согласование этих параметров, что позволяет системе функционировать без единой точки отказа и обеспечивает масштабируемость.

Задачи, связанные с обеспечением сходимости алгоритма и фиксацией итогового решения. В данном случае используется метод двойственной декомпозиции, где на каждом шаге итерации происходит обновление рыночной цены (λ) методом градиентного подъема в зависимости от общего дисбаланса мощности в системе. Как только консенсус достигнут, итоговые значения мощности фиксируются (например, в смарт-контракте) и передаются как уставки на локальные контроллеры оборудования, гарантируя соблюдение физических ограничений сети.

Выводы

В данном исследовании развернута модель градиентного бустинга (GBM) в рамках структуры мультиагентной системы (MAS) для управления энергией микросетей. Предлагаемая структура GBA-MAS-MG решает эксплуатационные задачи, оснащая каждый автономный агент — генерации, хранения, нагрузки и управления — высокоточными краткосрочными прогнозами. Важно отметить, что результаты продемонстрировали, что предварительное обучение на обширных наборах данных (например, кампуса) с последующей минимальной точной настройкой на конкретные цели обеспечивает наиболее надежный интеллектуальный прогноз.

Результаты моделирования подтверждают, что внедрение адаптивного GBM в MAS заметно превосходит традиционные статистические методы, позволяя агентам выполнять обоснованную локальную оптимизацию. Через распределенные переговоры агенты эффективно координируют действия для достижения глобальных целей: минимизации эксплуатационных расходов, строгого баланса мощности и повышения стабильности. Децентрализованная конструкция также обеспечивает масштабируемость и устойчивость к сбоям связи, что напрямую приводит к улучшению планирования, снижению волатильности диспетчеризации и повышению надежности в условиях колебаний нагрузки и прерывистой генерации DER.

Будущие исследования будут сосредоточены на валидации предложенных алгоритмов посредством пилотных испытаний на реальных объектах с использованием технологии Hardware-in-the-Loop (HIL) [3], а также на расширении функционала системы для управления реактивной мощностью и напряжением.

Литература

1. D. Saha, N. Bazmohammadi, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero. "Multiple Microgrids: A Review of Architectures and Operation and Control Strategies," *Energies*, vol. 16, no. 2, Art. no. 600, Jan. 2023. doi:10.3390/en16020600.
2. D. El Hafiane, A. El Magri, H.E. Chakir, R. Lajouad, and S. Boudoudouh, "A multi-agent system approach for real-time energy management and control in hybrid low voltage microgrids," *Results in Engineering*, vol. 24, Art. no. 103035, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.RINENG.2024.103035.
3. A. Kuzin, D. Lukichev, G. Demidova, and A. Anuchin, "Concept of Hardware-in-the-loop Test Platform for Microgrid with Multi-Agent Approach," 2020 IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/RTUCON51174.2020.9316626.