

УДК 622.311

**ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА КОНФИГУРАЦИИ
МИКРОЭНЕРГОСИСТЕМЫ**Устюжанина А.С.¹, студент гр, ЭПм-241, II курсНаучный руководитель: Паскарь И.Н.¹, старший преподаватель¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.

Горбачева, г. Кемерово

В последние годы в России наблюдается устойчивый рост электропотребления, что приводит к увеличению нагрузки на энергосистему. По прогнозу «Системного оператора» в 2026 году энергопотребления в России вырастет на 3%, а на Дальнем Востоке – на 5% [1]. Развитие технологий искусственного интеллекта становится катализатором увеличения потребления электрической энергии (ЭЭ), что говорит о необходимости внедрения новых производственных мощностей. Одним из наиболее популярных решений для увеличения генерирующих мощностей – применение технологий распределенной генерации.

Отметим, что для населения, в связи с выходом Постановления Правительства №299 от 2 марта 2021 г. становится возможным продавать в общую сеть излишне выработанную ЭЭ, если у потребителя на своей территории имеется генерирующее оборудование до 15 кВт [2]. Поэтому наибольший интерес и целесообразность внедрения генерации возникает у населения. Таким образом происходит стимулирование развития и появления микроэнергосистем, которые позволят нескольким просьюмерам (активным потребителям, у которых на своей территории имеются установки генерации), а также обычным потребителям с системами накопления электроэнергии (СНЭЭ) объединяться, становясь новым объектом рыночной торговли электроэнергией. Согласно исследованиям [3] такое сообщество позволяет получить некоторую выгоду от установок собственной генерации. Однако на данном этапе существует несколько непроработанных вопросов с точки зрения нормативно-правовой и технической базы: количество просьюмеров в сообществе, пользователей со СНЭЭ и потребителей ЭЭ без СНЭЭ и без генерации.

В настоящее время отсутствуют универсальные цифровые платформы, позволяющие произвести оптимизационный расчет для определения наиболее экономически и технически выгодную конфигурацию микроэнергосистемы. Существует несколько математических методов для построения оптимизационной модели выбора наилучшего решения.

1. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

Метод определения предпочтений на основе сходства с идеальным решением – метод многокритериального анализа решений, разработанный Хвангом и Юном в 1981 году [4], предназначен для определения наилучшей альтернативы из набора вариантов. Этот метод работает путем выбора решения, имеющего кратчайшее геометрическое расстояние от положительного идеального решения (PIS) и наибольшее расстояние от отрицательного идеального решения (NIS). Такой метод используется в сценариях, требующих ранжирования, например, при выборе поставщиков, инвестиционных проектов или оценке эффективности в случаях, когда существует несколько противоречащих друг другу критериев.

2. ELECTRE

Является одним из наиболее классических методов, наряду с другими, например матрица Саати и TOPSIS [5]. Данные методы используются при принятии решений в различных областях, например, в промышленности. Семейство данных методов часто используется в интеграции с другими методами оптимизации. Методы ELECTRE объединяют семейство методов поддержки принятия решений, особенностью которых является частичная агрегация, основанная на построении отношений сравнения эффективности каждой пары решений.

3. AHP (Analytic Hierarchy Process) by Thomas Saaty

Метод аналитической иерархии, иначе еще называется методом Саати. Данный метод начинается с разбиения решений на иерархическую структуру, включающую цель принятия решения, критерии и альтернативы. Затем критерии взвешиваются, и альтернативы оцениваются относительно друг друга на основе серии попарных сравнений, проводимых лицом, принимающим решение. Этот процесс взвешивания и оценки приводит к получению общего балла для каждой альтернативы, по которому они ранжируются [6].

4. Парето-оптимизация

Это метод многокритериального выбора, при котором ищется состояние системы, где невозможно улучшить один показатель, не ухудшив другой. Множество таких решений (граница Парето) представляет собой оптимальный компромисс между противоречивыми целями, что используется в экономике, инженерии и принятии решений. Используется там, где нужно сбалансировать несколько несовместимых требований. [7]

Таким образом, задача носит многокритериальный характер и требует:

- генерации множества допустимых конфигураций,
- их оценки по ряду критериев,
- выбора наиболее рационального решения.

Наиболее эффективным подходом будет являться комбинация нескольких алгоритмов вместе для получения результатов, приближенных к реальности. Например, использование метода Саати и Парето-оптимизации. Рассмотрим возможный алгоритм работы и интеграции двух методов для определения наиболее оптимальной конфигурации микроэнергосистемы (рис. 1).

Этап 1. Формирование множества конфигураций

Рассматривается множество потребителей $i = 1, 2, \dots, N$. Задача формулируется как задача многокритериального выбора конфигурации:

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\} \rightarrow opt$$

Для каждого потребителя вводятся признаки:

- возможность участия в качестве просьюмера;
- возможность установки СНЭЭ.

Формируются конфигурации вида:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если потребитель } i \text{ является просьюмером} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$
$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{если у потребителя } i \text{ установлено СНЭЭ} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

При этом для просьюмера выполняется если $x_i = 1 \rightarrow y_i = 1$.

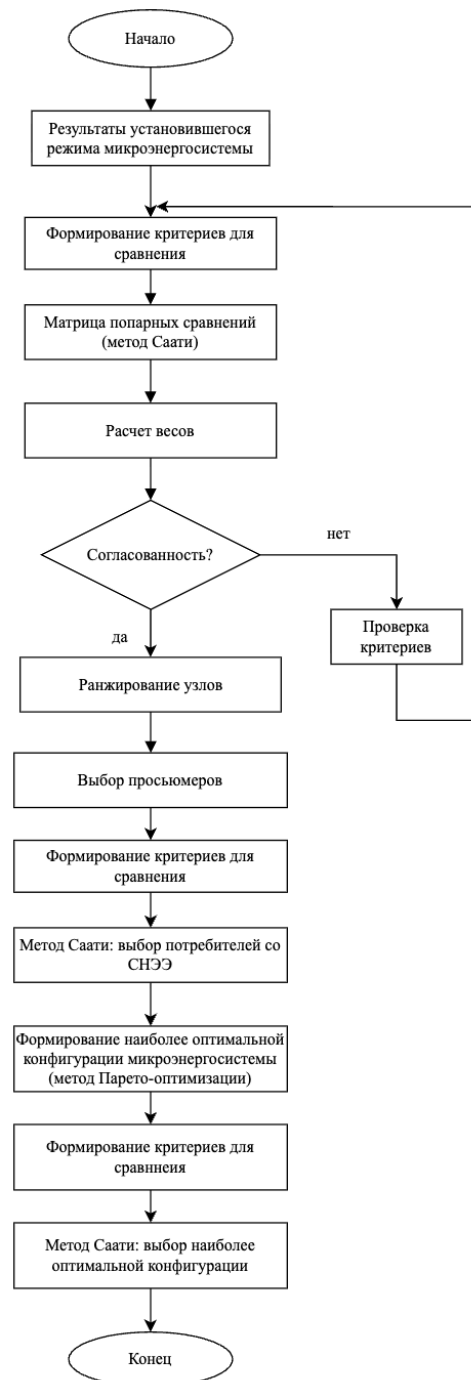


Рис. 1 Алгоритм работы для выбора оптимальной конфигурации решения

Этап 2. Предварительная фильтрация

Для сокращения пространства решений применяются ограничения:

- технические (например, допустимость установки генерации);
- топологические (удалённость от КТП, параметры сети);
- эксплуатационные.

По количеству оставшихся пользователей определяются «доступные потребители со СНЭЭ» по следующим критериям:

- наличие провалов напряжения
- количество потребляемой электроэнергии

- наличие перенапряжений
- электроэнергия, потребляемая электроприемниками типа P1

Оставшиеся потребители относятся к пользователям без СНЭЭ и генерации.

Этап 3. Парето-отбор конфигураций

Каждая конфигурация оценивается по совокупности критериев:

- суммарная генерация электроэнергии;
- объём накопленной энергии;
- срок окупаемости;
- внутрисетевой тариф.

На основе этих критериев формируется множество Парето-оптимальных решений, для которых невозможно улучшить один показатель без ухудшения другого. При этом множество решений будет выглядеть как:

$$\Omega = \{(x_1, \dots, x_N, y_1, \dots, y_N)\}$$

Этап 4. Выбор конфигурации методом Саати

После этого формируются критерии отбора оптимальных конфигураций из Парето-множества через метод аналитической иерархии.

Формируется иерархия:

- Цель – выбор оптимальной конфигурации;
- Критерии:
 - Генерация электроэнергии;
 - Накапливаемая ЭЭ для обеспечения автономной работы энергосистемы для приемников типа P1 в течение 24 часов;
 - Срок окупаемости;
 - Внутрисетевой тариф.
- Альтернативы

Для множества Ω приоритет конфигурации выглядит следующим образом:

$$S_k = \sum_{j=1}^m w_i \cdot a_{kj},$$

где w_i – вес критерия, a_{kj} – оценка конфигурации, S_k – интегральный показатель.

На основе попарных сравнений определяется приоритет каждой конфигурации и выбирается наиболее предпочтительная.

Таким образом, разработан комбинированный метод выбора конфигурации микроэнергосистемы, основанный на последовательном применении Парето-оптимизации и метода-Саати.

Предложенный подход позволяет формировать множество рациональных конфигураций и выбирать наиболее эффективное решение с учётом технических и экономических критериев.

Список литературы:

1. Системный оператор. Глава «Системного оператора»: в 2026 году энергопотребление в России может вырасти на 3%. [Электронный ресурс] URL: <https://www.so-ups.ru/news/smi/press-view/news/28459/>
2. Постановление Правительства РФ от 2 марта 2021 г. N 299 "О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации" (с изменениями и дополнениями)
3. Устюжанина А.С., Паскарь И.Н. P2P-рынок как способ взаимодействия объектов микрогенерации // Экономика и управление инновациями. 2024. № 4 (31). С. 84-95.
4. Brian Dyson, Integration of Life Cycle Assessment Into Decision-Analytic Approaches for Sustainable Technologies, Editor(s): Martin A. Abraham, Encyclopedia of Sustainable Technologies, Elsevier, 2017, Pages 81-89, ISBN 9780128047927, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10037-5>.
5. Латыпова В.А. Многокритериальное принятие решений с использованием группы методов ELECTRE. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024;12(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1760> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.3.030
6. Thomas L. Saaty, Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process. — McGraw-Hill, 1980.
7. Ларионов Игорь Павлович, Хорев Павел Борисович Парето-оптимизация в области принятия решений при проектировании комплексной системы защиты предприятия // Вестник евразийской науки. 2016. №2 (33). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pareto-optimizatsiya-v-oblasti-prinyatiya-resheniy-pri-proektirovaniya-kompleksnoy-sistemy-zaschity-predpriyatiya>