

УДК 621.31

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Аксенова А.А., магистрант гр. ЭПм-211, I курс

Научный руководитель: Паскарь И.Н., старший преподаватель

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

Единая энергетическая система России (ЕЭС России) - совокупность производственных и иных имущественных объектов электроэнергетики, связанных единым процессом производства (в том числе производства в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии) и передачи электрической энергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике [1].

Главной особенностью электроэнергии является тот факт, что её нельзя накопить в экономически значимых промышленных объемах. Электроэнергия передается практически мгновенно, то есть потребляется в момент производства. Таким образом, надежность функционирования ЕЭС России обеспечивается следующими требованиями:

1. Полное совпадение объемов выработки и генерации электроэнергии в каждый момент времени;
2. Попадание всех технических параметров системы в область допустимых значений.

Чтобы обеспечить эти требования, необходимо точно планировать потребление электроэнергии, топологии сети и пропускной способности этой сети. Кроме того, необходимо наличие генерации, которая способна покрыть текущий запрос на электрическую энергию в любой интервал времени. Для того, чтобы обеспечить баланс генерации и потребления мощности, необходимо использовать устройства непрерывного управления электростанциями, позволяющие оперативно регулировать мощность.

Развитие электрической сети ЕЭС России, согласно «Схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2020 - 2026 годы» будет связано с решением следующих задач, направленных на улучшение технической и экономической эффективности функционирования ЕЭС [2]:

- обеспечение внешнего электроснабжения новых крупных потребителей, а также обеспечение возможности увеличения роста нагрузок существующих потребителей за счет расширения производственных мощностей и (или) естественного роста нагрузок на перспективу;
- обеспечение надежности электроснабжения существующих потребителей;

- выдача мощности новых электростанций;
- снятие сетевых ограничений в существующей электрической сети, а также исключение возможности появления «узких» мест в перспективе из-за изменения структуры сети и строительства новых электростанций;
- развитие межсистемных электрических связей для обеспечения эффективной работы ЕЭС России в целом;
- решение проблем, связанных с регулированием напряжения в 72 электрической сети и обеспечением уровней напряжения в допустимых пределах;
- обновление силового оборудования, связанное с физическим и моральным старением основных фондов.

Одним из драйверов развития ЕЭС России на период 2020-2026 гг. может стать внедрение распределенной генерации (РГ), а именно виртуальной электрической станции (ВиЭС), объединяющей источники генерации, потребления, передачи и накопления электрической энергии [3].

У ВиЭС существует два назначения: техническое и коммерческое. Техническое – это системные услуги, например, регулирование частоты и активной мощности, поддержание качества электроэнергии и т.д. Под коммерческим назначением подразумевается продажа электроэнергии на оптовый рынок. ВиЭС может выполнять эти функции по-отдельности или совместно.



Рис.1 Структура состава ЕЭС России с внедрением ВиЭС

Таким образом, виртуальная электрическая станция способна решать сразу несколько задач в энергетике: оптимизация нормальных и аварийных режимов, стабилизация работы энергосистемы, гибкость в управлении генерацией энергии и согласование ее с текущим уровнем потребления, внедрение различных видов источников энергии (генераторов).

Одна из проблем развития любой энергосистемы – оптимальное размещение объектов распределенной генерации.

Следовательно, основополагающей задачей энергетики ближайшего будущего (до 2026 г.) станет оптимизация объектов, входящих в состав виртуальной электрической станции.

Внедрение виртуальных электрических станций в централизованную систему энергоснабжения откроет возможность сетевым компаниям подключать новых потребителей, а системный оператор получит дополнительные электрические мощности, что в свою очередь будет способствовать развитию ЕЭС России.

Существует большое количество алгоритмов определения оптимального решения оптимизационной задачи [4].

Задачами оптимизационных методов при осуществлении оптимизации энергосистемы являются [5]:

- 1) поиск оптимального состава схемы сети;
- 2) поиск местоположения оптимального размещения объектов РГ, источников электрической энергии, устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) и их параметров;
- 3) оптимизация масштабируемости энергосистемы в целом;
- 4) оптимизация проектирования и масштабируемости объектов распределенной генерации (в том числе установка и замена энергоборудования, укрупнение энергоустановок и т.д.);
- 5) поиск оптимальных размеров УКРМ и объектов РГ;
- 6) поиск оптимальных мест (узлов) подключения УКРМ и объектов РГ.

В зависимости от решаемой задачи, могут изменяться входные данные, необходимые для реализации оптимизационного алгоритма. Исходными данными могут быть потери активной и реактивной мощности, напряжение или ток в энергосистеме, значение электропотребления на объекте оптимизации, количество точек подключения или объектов, частота отказов электрооборудования, мощность нагрузки, стоимость электрической энергии или другого вида топлива, стоимость технологического присоединения энергообъекта, а также возможные характеристики оценки потенциала ВИЭ-генерации (в случае использования объектов с ВИЭ).

Методы оптимизации можно разделить на классические оптимизационные алгоритмы, метаэвристические (неклассические) и комбинированные алгоритмы (таблица 1) [6].

Классические методы, как правило, представляют собой аналитические методы поиска оптимального решения. Они включают в себя простые алгоритмы с малым количеством исходных данных и содержат минимум вычислений. Некоторые классические методы осуществляют поиск оптимального решения без учета нелинейности оптимизационной задачи.

Метаэвристические методы – это методы, состоящие из стохастических алгоритмов, которые используют любое количество исходных параметров в момент осуществления поиска оптимального решения поставленной задачи. Несколько метаэвристических алгоритмов могут быть объединены в единый (комбинированные методы) для наилучшего поиска оптимального решения. В таком случае количество итераций произведения алгоритма будет увеличиваться, что будет способствовать получению более точного результата. Далее из полученных на различных итерациях решений будет формироваться набор

наилучших по заданным критериям оптимизации решений, а затем произойдет выборка самого оптимального решения.

Таблица 1

Сравнение оптимизационных методов

Параметр срав-нения	Классические ме-тоды	Метаэвристические ме-тоды	Комбинированные ме-тоды
Решаемые задачи	Поиск оптимального местоположения объектов, поиск оптимальной мощности энергообъектов, поиск оптимальной структуры объектов энергосистемы	Поиск оптимального местоположения энергообъектов, планирование расширения распределительной сети, определение оптимальных размеров объектов РГ, поиск оптимальной мощности объектов генерации, определение оптимальной структуры объектов энергосистемы [6]	Поиск оптимального местоположения энергообъектов, планирование расширения распределительной сети, определение оптимальных размеров объектов РГ, поиск оптимальной мощности объектов генерации, определение оптимальной структуры объектов энергосистемы [6]
Простота реали-зации	Простая	Средней сложности	Средней сложности
Время выполне-ния алгоритма	Длительное время поиска решения	Краткое время проведения расчетов	Краткое время проведения расчетов
Особенности осуществления алгоритма	1. Низкая скорость сходимости алгоритма 2. Минимальное количество вычислений и итераций алгоритма 3. Завершение алгоритма после того, как найдено первое оптимальное решение	1. Средняя скорость сходимости алгоритма 2. Наличие целевых функций для осуществления поиска решения 3. Итерационность алгоритма	1. Высокая скорость сходимости алгоритма 2. Использование случайной исходной информации для поиска оптимального решения 3. Итерационность алгоритма
Примеры	Оптимизация методов техноценоза, метод потенциалов, метод линейной регрессии, многокритериальная оптимизация, аналитический подход, метод математического программирования (линейное и нелинейное программирование), метод линейной аппроксимации	Генетический алгоритм, оптимизация роя частиц, алгоритм искусственной пчелиной колонии, имитация отжига, поиск с запретами (табу-поиск), метод поиска летучей мыши, поиск колонии муравьев, гравитационный поиск, кукушкин поиск	Метод стаи сальп, метод саранчи, метод мотылька и пламени, гибридный метод роя частиц и гравитационного поиска

Таким образом, можно сделать вывод, что для решения оптимизационной задачи преимущественно следует использовать метаэвристические методы оптимизации или их модификации (комбинированные методы), так как они позволяют обеспечить более высокую скорость поиска решения, а также могут использовать большое количество параметров в качестве входных данных. Однако, из-за сложности самих алгоритмов, метаэвристические методы обладают одним недостатком: преждевременное схождение функций. Для уменьшения риска преждевременного схождения функций и используют комбинированные метаэвристические методы, которые ведут два «дублирующих» друг друга оптимизационных алгоритма.

Основной проблемой оптимизации системы энергоснабжения является решение дискретной нелинейной невыпуклой функции, состоящей из места размещения объектов РГ, их мощности и типа. Эта проблема также обуславливает выбор метаэвристических методов оптимизации при решении задач поиска оптимального решения.

Выбор наиболее подходящего метода оптимизации может зависеть не только от вида задачи, но и от критериев оптимизации (повышение надежности энергосистемы, уменьшение технических неполадок в системе, уменьшение энергодефицита заданной территории, повышение энергобезопасности энергосистемы, минимизация потерь электроэнергии, минимизация затрат на оборудование и др.).

Список литературы:

1. Системный оператор единой энергетической системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/functioning/ees/ees-2020/>
2. Приказ Минэнерго России от 30.06.2020 № 508 «Об утверждении Схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2020 - 2026 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/19166>
3. Распределенная энергетика в России: потенциал развития / А.Хохлов, Ю.Мельников, Ф. Веселов [и др]. – М.: Энергетический центр Московской школы управления СКОЛКОВО. – 2018. - 89 с. [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEnE/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf
4. Обзор метаэвристических методов оптимизации, применяемых при решении электроэнергетических задач / Р.А. Алексин, Ю.П. Кубарьков, Д.В. Закамов, Д.В. Умяров // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2019. – №3(63). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metaevristicheskikh-metodov-optimizatsii-primenyaemuyh-pri-reshenii-elektroenergeticheskikh-zadach>
5. Толба, М.А.Х. Развитие методов оптимизации размещения компенсирующих устройств и возобновляемой распределенной генерации в радиальных электрических сетях / дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, МЭИ, Москва, 2018.

6. Обзор метаэвристических методов оптимизации, применяемых при решении электроэнергетических задач / Р.А. Алексин, Ю.П. Кубарьков, Д.В. Закамов, Д.В. Умяров // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2019. – №3(63). Режим доступа:
<https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metaevristicheskikh-metodov-optimizatsii-primenyaemyh-pri-reshenii-elektroenergeticheskikh-zadach>