

---

УДК 621.311

С.В. ГАЙНУЛЛИНА, студент гр.5182 (КНИТУ-КАИ)  
г. Казань

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Распределительные сети сталкиваются с серьезными проблемами, такими как включение большего количества экологически чистой энергии, установка более управляемых электронных устройств питания, дифференцированные требования к качеству электроэнергии от разных потребителей и более активное участие со стороны клиентов, в связи с изменениями в нынешних распределительных сетях. Чтобы обеспечить стабильную и более экологическую электроэнергию и удовлетворить требования различных заинтересованных сторон, мы должны надлежащим образом планировать и использовать имеющиеся сетевые ресурсы для устранения ограничений, повышения качества услуг и сокращения операционных затрат. Правильные стратегии планирования и эксплуатации обеспечивают экономичную эксплуатацию сети и улучшают качество обслуживания клиентов при использовании электроэнергии или участии в управлении сетью. Проблемы планирования распределения и эксплуатации (такие как интеграция большего количества возобновляемых источников энергии, использование ресурсов гибкости и привлечение клиентов для различных целей и т.д.) могут быть решены с помощью соответствующего определения проблем оптимизации и использования правильно подобранных методов оптимизации. Исследования по оптимизации распределительных систем можно в целом разделить на две категории.

Первая категория - это планирование. В связи с глобальной тенденцией использования большего количества возобновляемых источников энергии для сокращения выбросов, одной из задач планирования распределительных систем в настоящее время является интеграция большего количества распределенных энергоресурсов в существующие сети путем определения оптимальных размеров распределенных генераторов и мест их установки при обеспечении стабильной работы сети. Проблемы возросшего спроса на качество электроэнергии, устаревания оборудования и ограниченной пропускной способности сети приводят к большим финансовым потерям, как для операторов систем передачи, так и для потребителей, поэтому для обеспечения достаточного качества электроэнергии клиентам необходима

**IV Всероссийская молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
18-20 ноября 2021 года**

208-2

---

правильная и оптимальная установка устройств. Планирование системы распределения также учитывает оптимальное размещение счетчиков [1] для повышения точности оценки состояния, а также расширения и укрепления сети с целью увеличения пропускной способности сети.

Вторая категория - это эксплуатация. Она включает в себя ежедневное управление электрическими сетями с использованием сетевого анализа и оптимизации. Эксплуатация становится более сложной, чем когда-либо, из-за возобновляемых ресурсов в сети, например, фотоэлектрической генерации и ветровых турбин. Возобновляемые источники энергии в природе в значительной степени случайны и неустойчивы в зависимости от погодных условий. Ненадлежащее использование возобновляемых ресурсов приводит к сетевым работам, таким как несбалансированность и нарушение тепловых пределов сети с высоким увеличением напряжений и токов. Для обеспечения состояния сети в допустимом диапазоне требуется надлежащее управление ограничениями. Благодаря новой повышенной гибкости и управляемости ресурсы в сети могут быть использованы для достижения определенных целей, таких как управление ограничениями и решение проблем перегрузки.

С учетом изменений и новых функций в текущих и будущих распределительных сетях есть огромное неопределенность в условиях сети. Электросети с более активным воздействием различных субъектов на работу сети и неопределенная достоверность данных источников приводят к большим колебаниям и непредсказуемости и создают серьезные проблемы для планирования и функционирования сети. Эти неопределенности должны быть устранены оптимизацией с целью разработки более эффективных стратегий планирования и эксплуатации, подходящих для реальных энергетических сетей.

Рассмотрим ресурсы данных, которые могут быть использованы для планирования и эксплуатации распределительной сети, а также определяются неопределенности источников данных, которые следует учитывать при оптимизации.

Данные являются наиболее важными предварительными условиями для выполнения ряда важнейших функций в области планирования, управления и эксплуатации энергосистем. Точность и репрезентативность данных определяет качество конечных решений, полученных в процессе оптимизации. В распределительных сетях данные могут быть получены из различных источников, которые имеют разный уровень точности и неопределенности. Различные неопределенности, как правило, должны быть устранены в процессе оптимизации с помощью присвоения дифференцированной достоверности соответствующим данным.

**IV Всероссийская молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
18-20 ноября 2021 года**

208-3

---

Использование надлежащего способа устранения неопределенностей в целом может в некоторой степени улучшить производительность алгоритмов. Как правило, данные могут в основном собираться либо прямо, либо косвенно.

Данные могут быть получены непосредственно от счетчиков, установленных в сетях. Эти измерения данных предоставляют наиболее точную информацию, которую можно использовать в различных сетевых функциях. Однако, поскольку в распределительных системах имеется много шин и линий, невозможно установить достаточное количество счетчиков, чтобы достигнуть полной наблюдаемости сети. Поэтому следует искать другие источники данных, чтобы свести к минимуму проблемы, вызванные недостаточными измерениями реальных счетчиков. Влияние отсутствия реальных измерений на производительность оптимизации может быть сведено к минимуму за счет включения псевдоизмерений, включая псевдоизмерения смешанной модели, запланированную оценку мощности и нагрузки.

В настоящее время, в частности, разработка интеллектуальных концепций в распределительных сетях позволяет вести сбор и хранение огромных объемов данных в различных формах. Косвенные измерения (также называемые псевдоизмерениями) могут быть собраны с помощью аналитических подходов к данным, таких как оценка и прогнозирование. Несмотря на то, что эти ресурсы обеспечивают более низкую точность информации по сравнению с измерениями реальных счетчиков, производительность сетевого анализа или оценки может быть значительно улучшена за счет надлежащего учета дифференциального влияния различных косвенных данных источники в процессе принятия решений. Например, подробные исторические данные о потребностях в нагрузке доступны благодаря широко распространенным умным счетчикам. Потребности в нагрузке могут быть извлечены и оценены на основе несинхронизированных измерений, полученных с помощью умных счетчиков с использованием методов оценки нагрузки. В ряде исследований изучалось использование данных умных счетчиков для улучшения оценки различных параметров в распределительных сетях низкого напряжения. Методы вычислительного интеллекта были использованы для создания псевдоизмерений требований к нагрузке. Например, подходы машинного обучения использовались для получения надежных исходных данных для оценки состояния и искусственных нейронных сетей, используемых для формирования требований к нагрузке. В качестве альтернативы, оценка нагрузки в реальном времени может быть выполнена путем взаимодействия между оценкой и потоком нагрузки.

В любых реальных измерениях и псевдоизмерениях различных переменных, таких как напряжение, активная и реактивная мощность и сопротивление линии, существуют ошибки измерений. Неопределенность измерений может значительно повлиять на производительность оптимизации в приложениях, таких как оценка состояний и поток нагрузки. Влияние неопределенностей измерений на сетевой анализ привлекло большое внимание. В [2] в исследовании был представлен тот факт, что различные точности измерений оказывают большое влияние на точность оценки. В [3] в исследовании анализировалось влияние ошибок измерений на оценку состояний производительности, и в нем было представлено, как можно улучшить оцененные отклонения напряжений шины при повышении точности измерения нагрузки. В [4] были изучены минимальные измерения, необходимые для обеспечения полной наблюдаемости, и указано, как неопределенность измерений влияет на производительность оценки состояний. Исследование дает прямое представление о максимально допустимой неопределенности измерений, которая способна удерживать ошибки оценки в пределах пороговых значений. В [5] в статье представлен анализ влияния неопределенностей параметров сети на ошибки оценки состояний.

**Список литературы:**

1. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. М.: Издательство НЦ ЭНАС. - 2002, 280с.
2. Muscas, C.; Sulis, S.; Angioni, A.; Ponci, F.; Monti, A. Impact of different uncertainty sources on a three-phase state estimator for distribution networks. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2014, 2200–2209.
3. Ke, L. State estimation for power distribution system and measurement impacts. *IEEE Trans. Power Syst.* 1996, 911–916.
4. Macii, D.; Barchi, G.; Petri, D. Uncertainty sensitivity analysis of WLS-based grid state estimators, 2014, 5-6.
5. Angioni, A.; Schlosser, T.; Ponci, F.; Monti, A. Impact of Pseudo-Measurements from New Power Profiles on State Estimation in Low-Voltage Grids. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2016, 70–77.

**Информация об авторах:**

Гайнуллина Сабина Василовна, студент гр.5182, КНИТУ-КАИ,  
420111 г. Казань, ул. К. Маркса д.10, [GaynullinaSV@stud.kai.ru](mailto:GaynullinaSV@stud.kai.ru)