

УДК 621.311

**ПОСТРОЕНИЕ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Галабурда Я.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

Трехфазные сельские распределительные электрические сети среднего напряжения представляют ключевое звено системы централизованного электроснабжения. При соблюдении технических ограничений их оптимизация позволяет получить максимальный экономический эффект по сравнению с другими ступенями напряжения.

Вновь созданные и эксплуатируемые сельские распределительные электрические сети должны отвечать требованиям потребителей электроэнергии. К основным требованиям, обоснованным использованием современной техники и внедрением новых технологий, относят надежность электроснабжения и качество электроэнергии. Устойчивость работы электроприемников гарантирована государственной энергосистемой.

Построению оптимальных сельских распределительных электрических сетей традиционно уделяют много внимания. При этом выбор решений основан на расчете приведенных затрат, потерь и отклонений напряжения в нормальном режиме функционирования, который следует понимать как симметричный трехфазный режим прямой последовательности токов и напряжений. Современный уровень исследований в области надежности позволяет теоретически обосновать новые (дополнительные) критерии, разработать специальные методы расчета и нормативы. В задачи исследования входит поиск оптимальной конфигурации, оптимальных параметров и режимов работы сельских распределительных электрических сетей среднего напряжения при новом проектировании и реконструкции, а также установление сроков ликвидации до наступления массовых отказов.

Сельские электрические сети среднего напряжения включают типовые двухтрансформаторные подстанции классов 110 и 35 кВ, воздушные и кабельные линии 6, 10 и 20 кВ. Механическая прочность обеспечена использованием стандартных конструкций и их соединений. Лучшим исполнением можно считать трехфазные трансформаторные подстанции 110 кВ с автоматическим регулированием напряжения под нагрузкой и ВЛ 10 кВ на железобетонных опорах. Напряжение 6, 20 и 35 кВ традиционно используют как дополнительное. Сельские ТП класса 10 кВ и ВЛ напряжением 0,38 кВ в настоящей работе не рассмотрены как имеющие существенно меньшую мощность и длину. Однако выбор их оптимального варианта возможен на тех же теоретических принципах. Предпочтение следует отдать ВЛ 0,38 кВ на железобетонных опорах[2].

Питающие линии 110 кВ выполняют на металлических опорах и не относят к сельским. Их надежность достаточна, потери напряжения и энергии незначительны, а режимы работы строго определены.

Сеть сельского электроснабжения среднего напряжения представляет направленный разомкнутый граф. В случае аварийного отключения

автоматический ввод резервного питания предусмотрен от второго трансформатора подстанции класса 110 и 35 кВ или соседней линии среднего напряжения через короткую перемычку. Повышению надежности способствует автоматическое секционирование ВЛ и шин двухтрансформаторных подстанций[1].

Формальным отражением требований потребителей и возможностей энергосистемы служит технико-экономический показатель эффективности, позволяющий урегулировать противоречия и принять компромиссные решения. Достижению цели соответствует его минимум. Показатель эффективности, называемый также целевой функцией, объединяет частные критерии оптимизации способом суммирования в единый критерий. Целевую функцию следует представить в виде приведенных затрат, учитывающих отчисления от капиталовложений с нормативным коэффициентом эффективности и эксплуатационные издержки, включающие стоимость потерь электроэнергии. При исследовании надежности электроснабжения или качества электроэнергии модели дополняют соответствующим ущербом от аварийных отключений или отклонений напряжения по сравнению с номинальным напряжением. В результате получают нормативные показатели надежности и допустимые отклонения напряжения, которые затем служат ограничениями целевой функции при выборе варианта выполнения сельских электрических сетей и реконструкции на детерминированном уровне моделирования. Трудность заключена в оценке ущерба из-за недостатка объективной информации. При наличии ограничений ущерб может быть равен нулю.

Разработанные нами методы расчета и нормирования надежности электроснабжения основаны на использовании неполной исходной информации об аварийных отключениях.[2]

В период нормальной работы электрической сети имеет место стационарный ординарный поток отказов с восстановлением и экспоненциальным законом распределения длительности перерыва, называемый также простейшим. Показатели надежности элементов сети изменяются в широких пределах, т.е. точечные оценки не допустимы. Новой идеей является учет неопределенных факторов в виде интервалов значений показателей надежности. Преобразование электрических схем в диаграммы надежности и их последовательное эквивалентирование в соответствии с логическими операциями и/или позволяют получить научный и практический результаты. Дополнительная информация о сети помогает исследователю снять исходную неопределенность и выбрать вариант на детерминированном уровне. Основными результатами можно считать инженерный метод расчета и метод нормирования надежности, разработанные впервые, а также новые нормативные показатели, обеспеченные схемными решениями. Например, на шинах высшего напряжения ТП 10(6) кВ нормативный параметр потока отказов при отсутствии резерва по ВЛ среднего напряжения, соответствующий частоте аварийных отключений  $\omega$ , составляет 1,4...1,8 в год с нормативной длительностью  $\tau$  от 4 до 6 часов. При этом суммарная длина не секционированных участков линии не превышает 10 км. В случае автоматического резервирования одной ВЛ от другой (соседней)

через короткую перемычку и изменении длины основной и резервной линий в широких пределах  $\omega = 0,2 \dots 0,3$  1/год и  $\tau = 4 \dots 8$  ч. Таким образом, сетевое резервирование на среднем напряжении можно считать действенным способом повышения надежности электроснабжения сельских потребителей. Известные ранее нормативы надежности не имели теоретической базы и практически не могли быть использованы из-за отсутствия соответствующих схем электроснабжения и методов расчета. С надежностью сельских электрических сетей среднего напряжения связано качество электроэнергии у потребителей 0,38 кВ. При новом строительстве и реконструкции сельских распределительных электрических сетей следует выбирать схемы, соответствующие нормативным показателям надежности. Ориентиром для проведения реконструкции существующих электрических сетей, не оптимальных по критериям надежности электроснабжения и качества электроэнергии, служит верхняя граница периода нормальной работы. В более поздние сроки реконструкция не допустима. Качество электроэнергии сельских потребителей во многом зависит от потерь напряжения в распределительных электрических сетях среднего напряжения. Повышение качества электроэнергии обусловлено использованием схем электроснабжения с оптимальными параметрами и режимами. Выбор сечений проводов и кабелей, составляющий основу электрического расчета, возможен на детерминированном уровне информации или с учетом неопределенного фактора роста электрической нагрузки. Стандартные технические средства (электрические аппараты и оборудование), выпускаемые отечественной промышленностью, позволяют снизить потери напряжения и электроэнергии до уровня допустимых значений. Таким образом, в нормальном режиме функционирования сети среднего напряжения с нормативными показателями надежности впервые могут быть обеспечены отклонения напряжения у электроприемников в пределах, регламентируемых ГОСТом. За пределами нормальной работы сети централизованного электроснабжения и ее элементов имеет место нестационарный ординарный поток отказов без восстановления, соответствующий периоду старения. Рост интенсивности отказов подчинен нормальному закону распределения. Методом экспертных оценок с последующей математической обработкой мнений специалистов по критериям согласия определена граница зоны стационарности, установлена тесная связь между старением элементов системы сельского электроснабжения и материалами опор ВЛ, а также трансформаторов подстанций. Кроме того, показано, что старение практически не зависит от номинального напряжения сети. Для определения срока безопасной эксплуатации сельских распределительных электрических сетей относительно нормативного использован метод численного интегрирования. Интенсивность отказов описана математическим ожиданием функции случайной величины. Расчеты показали, что элементы сети сельского электроснабжения должны служить 0,9 нормативного срока, т.е. на 3...4 года меньше установленного ранее периода. Нормативный срок не следует корректировать[1].

**Выводы.** Таким образом, впервые на основе научной методологии разработаны методы и модели построения оптимальных систем

централизованного электроснабжения сельских потребителей, включающие выбор параметров и режимов, стратегии реконструкции существующих электрических сетей среднего напряжения с учетом неполной исходной информации. Предусмотрена безопасная ликвидация элементов системы до наступления массовых отказов и катастроф техногенного типа. Внедрение результатов работы гарантирует снижение ущерба от аварийных отключений при минимальных затратах, снижение потерь напряжения и повышение качества электроэнергии.

#### Литература

1. Эбина Г.Л. Построение сельских распределительных электрических сетей // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. №2(17). С. 130-133.
2. Фадеева Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей: Высшая школа, 2009.