

УДК 621.311.1

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Голодников М.С., студент гр. ЭПм-251, 1 курс,
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Сельские распределительные сети играют важную роль в электроснабжении жилых, коммунально-бытовых и производственных потребителей. По сравнению с городскими сетями они работают в более сложных условиях: линии имеют значительную протяжённость, нагрузка распределена неравномерно, а значительная часть потребителей подключена однофазно. Дополнительное влияние оказывают сезонные колебания потребления, изношенность оборудования и ограниченные возможности оперативного контроля. В совокупности это создаёт предпосылки для роста потерь и ухудшения режима напряжения.

Для таких сетей наиболее характерны отклонения напряжения на удалённых участках, выраженная неравномерность фазной загрузки, рост токов в нулевом проводнике, увеличение доли реактивной составляющей и ухудшение формы напряжения при наличии нелинейной нагрузки. Эти явления тесно связаны между собой: нарушение одного режима обычно сопровождается ухудшением других параметров и дополнительной нагрузкой на элементы сети.

Актуальность темы определяется необходимостью комплексной оценки как технической, так и нетехнической составляющей общих потерь, а также их связи с показателями качества электроснабжения. Нормативные требования к качеству электрической энергии установлены ГОСТ 32144–2013 и приказом Минэнерго России № 690. Цель работы — рассмотреть основные причины роста потерь в сельских сетях 0,4–10 кВ, определить факторы, ухудшающие режим напряжения, и выделить наиболее эффективные направления снижения небаланса и повышения надёжности электроснабжения.

Потери в сельской распределительной сети целесообразно разделять на технические и коммерческие.

Технические потери связаны с физическими процессами передачи энергии и включают потери в трансформаторах, проводниках линий, контактных соединениях и коммутационной аппаратуре. Их величина возрастает при увеличении тока нагрузки, а также при несимметрии, наличии реактивной мощности и высших гармоник. Для протяжённых линий 0,4 кВ это особенно критично, поскольку даже умеренное увеличение тока приводит к заметному росту потерь и падения напряжения.

Коммерческие потери не относятся к физическим потерям в элементах сети, однако существенно влияют на достоверность оценки режима. К ним относятся безучётное потребление, ошибки измерения и передачи показаний, нарушения схем включения счётчиков, а также вмешательство в систему учёта. В сельской местности такие случаи сложнее выявлять из-за территориальной распределённости потребителей и ограниченного контроля. В результате фактическая нагрузка может отличаться от расчётной, что искажает баланс по подстанции и затрудняет выявление реальных причин перегрузки отдельных участков.

Согласно действующим нормативным требованиям, к основным показателям качества относятся отклонение напряжения, несимметрия, колебания, фликер, несинусоидальность, провалы и перенапряжения. Для сетей 0,4 кВ в сельской местности наибольшее практическое значение имеют прежде всего уровень напряжения у потребителя, неравномерность фазной загрузки, реактивная составляющая нагрузки и гармонические искажения.

Наиболее чувствительным параметром остаётся напряжение у удалённых потребителей. Его снижение обычно связано с большой длиной линии, недостаточным сечением проводников, локальной перегрузкой, плохим состоянием соединений и избытком реактивной мощности. При пониженном напряжении часть электроприёмников начинает работать в неблагоприятном режиме: увеличивается нагрев, ухудшаются пусковые свойства двигателей, возрастает вероятность отказов, а в ряде случаев повышается ток, что дополнительно нагружает линию.

Не менее характерной особенностью сельских сетей является несимметрия по фазам. Она возникает из-за неравномерного распределения однофазной бытовой нагрузки. При этом наиболее загруженная фаза и нулевой проводник оказываются перегружены, увеличиваются потери в линии и трансформаторе, а значения фазных напряжений становятся неравномерными. Для коммунально-бытового сектора это одна из самых типичных причин ухудшения режима.

С ростом доли современной электроники и регулируемого электропривода возрастает влияние нелинейной нагрузки. Светодиодные источники света, импульсные блоки питания, сварочные аппараты, частотные преобразователи и системы автоматизации создают гармонические искажения. В результате увеличивается действующее значение тока, усиливается нагрев проводников и трансформаторов, возрастает нагрузка на нулевой проводник, а форма напряжения отклоняется от синусоидальной.

Для ряда сельскохозяйственных и коммунальных объектов существенную роль играет реактивная мощность. Хотя в нормативном смысле она не всегда выделяется как самостоятельный показатель качества, её влияние на режим очевидно: при росте реактивной составляющей увеличивается ток, растут потери в линии, возрастает падение напряжения и ухудшается загрузка трансформаторов. Аналогично, переменные по характеру нагрузки — насосы,

электродвигатели, сварочные посты — способны вызывать колебания напряжения и кратковременные провалы.

Таким образом, для сельской сети характерна не изолированная, а связанная совокупность отклонений. Несимметрия усиливает падение напряжения, реактивная составляющая увеличивает токовую нагрузку, гармоники создают дополнительные тепловые потери, а искажённые данные учёта затрудняют объективную оценку состояния сети. По этой причине технические и коммерческие потери следует рассматривать не отдельно, а как элементы единой задачи по повышению эффективности распределения электроэнергии.

Снижение небаланса и улучшение качества электроснабжения требует комплекса технических и организационных мер.

В первую очередь для сетей 0,4 кВ целесообразно перераспределять однофазную нагрузку по фазам. Это позволяет уменьшить неравномерность, снизить ток в нулевом проводнике и выровнять напряжение у потребителей. Вторым направлением является усиление слабых участков сети: замена перегруженных линий, увеличение сечения проводников, устранение переходных сопротивлений в контактных соединениях и сокращение чрезмерно длинных участков низкого напряжения.

Для объектов с выраженной индуктивной нагрузкой эффективна компенсация реактивной мощности, позволяющая уменьшить токовую нагрузку и снизить падение напряжения. На участках с высокой долей нелинейных потребителей необходим контроль гармонического состава, а при необходимости — применение фильтрующих устройств и ограничение подключения мощных искажающих нагрузок без предварительной оценки режима.

Отдельного внимания требует снижение коммерческих потерь. Для этого необходимы интеллектуальные приборы учёта, регулярная сверка баланса по подстанциям, пофидерный и пофазный контроль, а также анализ нетипичных профилей потребления. Чем точнее данные учёта, тем надёжнее можно оценить реальные причины небаланса и быстрее локализовать проблемный участок.

Перспективным направлением является цифровой мониторинг распределительной сети. Переход от разовых измерений к регулярному контролю параметров позволяет отслеживать динамику нагрузки, своевременно фиксировать ухудшение напряжения, рост несимметрии и аномальные изменения баланса. Это особенно важно для сельской местности, где обходы и выездные проверки требуют значительных затрат времени и ресурсов.

В заключение отметим, что сельские сети 0,4–10 кВ отличаются повышенной чувствительностью к неравномерной загрузке, реактивной составляющей, гармоническим искажениям и недостаточной наблюдаемостью режима. В этих условиях отклонение напряжения, фазная несимметрия и рост потерь формируют взаимосвязанный комплекс проблем, который не может эффективно решаться отдельными мерами. Существенное влияние оказывает и коммерческая составляющая, поскольку искажённые данные учёта затрудняют оценку

реального состояния сети. Наиболее рациональным является комплексный подход, включающий балансировку фаз, усиление слабых участков, компенсацию реактивной мощности, контроль нелинейной нагрузки, повышение достоверности учёта и внедрение цифрового мониторинга.

Список литературы

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
2. Об утверждении требований к качеству электрической энергии, в том числе распределению обязанностей по его обеспечению между субъектами электроэнергетики и потребителями электрической энергии: приказ Минэнерго России от 28.08.2023 № 690.
3. Никитин А. М., Безик В. А., Широбокова О. Е. Анализ потерь электроэнергии в сельских распределительных сетях напряжением 6–10/0,4 кВ // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 6(100). – С. 69–73.
4. Казымов И. М. Разработка эффективной методики обнаружения коммерческих потерь электроэнергии в сельских электрических сетях низкого напряжения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 7(177). – С. 118–123.
5. Казымов И. М., Компанец Б. С. Метод определения факта и места возникновения коммерческих потерь в распределительных сетях // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4(198). – С. 111–117.
6. Исупова А. М. Методические положения расчёта потерь электроэнергии в сельских электрических сетях // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2022. – № 4(41). – С. 94–101.