

# Повышение энергетической эффективности электрических сетей

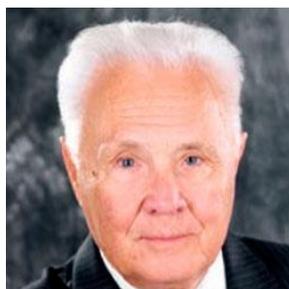
Валерий Воротницкий, Игорь Жежеленко, Герман Трофимов

Международный опыт повышения энергетической эффективности электрических сетей свидетельствует о существовании в промышленно развитых странах общих подходов к решению этой важнейшей общемировой проблемы, которая с каждым годом становится все более актуальной.



Главный научный сотрудник АО «НТЦ ФСК ЕЭС», д.т.н., профессор

**Валерий Эдуардович  
Воротницкий**



Заведующий кафедрой Приазовского Государственного технического университета, д.т.н., профессор

**Игорь Владимирович  
Жежеленко**



Профессор кафедры Алматинского Университета энергетики и связи, д.т.н.

**Герман Геннадьевич  
Трофимов**

Эти подходы находят отражение в международных и национальных нормативно-правовых актах и стандартах, отраслевых нормах, государственной и технической политике, регламентах и правилах и основываются на следующих основных принципах:

- энергетическая эффективность должна обеспечиваться не любыми, а технико-экономически обоснованными средствами;
- энергетическая эффективность передачи и распределения электроэнергии должна ограничиваться не только энергосбережением в электрических сетях, но также улучшением экономических показателей, в первую очередь, снижением стоимости услуг и ограничений подключения потребителей к электрическим сетям, а также повышением качества электроэнергии и надежности электроснабжения;
- энергетическая эффективность решающим образом зависит от заинтересованного и квалифицированного участия персонала электросетевых компаний, в первую очередь, руководства этих компаний;
- повышение энергетической эффективности – долгосрочная капиталоемкая задача, успешное решение которой должно основываться на:
  - четкой, ясной и понятной стратегии развития электросетевой компании; технической, инновационной, энергетической и экономической политиках управления, модернизации и развитии, как производственных активов, так и человеческих ресурсов;
  - выстраивании долгосрочных отношений с субъектами оптового и розничного рынков электроэнергии, производителями оборудования, подрядными, проектными и научно-исследовательскими организациями и потребителями;
  - государственной поддержке повышения энергоэффективности, в первую очередь в части нормативно-методического обеспечения, стандартизации деятельности, совершенствования тарифной политики и экономического стимулирования;

○ *изучении, анализе, обобщении и распространении передового отечественного и зарубежного опыта.*

В 2015 году только в сетях ПАО «Россети» фактические потери составили 9,64% от отпуска электроэнергии в сеть или в абсолютном исчислении – 76893,2 млн кВт•ч, в том числе в электрических сетях ПАО «ФСК ЕЭС» – 4,74% или 23478,1 млн кВт•ч, в распределительном комплексе – 8,47% или 53415,1 млн кВт•ч. Если к этим потерям прибавить потери в электрических сетях, не входящих в ПАО «Россети», а также в территориальных сетевых организациях, которых насчитывается около 3500, и прочих сетях, оказывающих услуги по передаче электроэнергии, суммарная величина потерь электроэнергии в электрических сетях России в целом оценивается в размере около 120 млрд кВт•ч в год или около 12% от отпуска электроэнергии в эти сети.

Если учесть потери электроэнергии в электрических сетях, не входящих в ПАО «Россети», сетях промышленных предприятий, ОАО «РЖД» и других, оказывающих услуги по передаче электроэнергии своим субъектам, то суммарные потери могут вырасти еще на 5–10 млрд кВт•ч. При этом относительные потери в электрических сетях России вырастут до 12–14% от произведенной электроэнергии, а от отпуска в сеть – до 13–15% вместо 10%, фигурирующих в российских данных Международного энергетического агентства.

Для сравнения отметим, что относительные потери электроэнергии в электрических сетях Китая составляют около 6%. Величина относительных потерь электроэнергии в электрических сетях промышленно развитых стран мира (по данным Международного энергетического агентства) находится в пределах 4–7%: в Германии – 4%, Японии и Франции – 5%, Австрии, США – 6%, Италии и Швейцарии – 7%. Эти страны относятся к странам с высоким внутренним валовым продуктом (ВВП) по паритету покупательной способности (ППС) на душу населения, превышающим 50 тыс. долл. США. В странах с ВВП по ППС ниже 10 тыс. долл. США – в Молдове, Индии, Судане, Замбии, Албании, относительные потери в сетях составляют 21–25%, а в Камбодже и Непале с ВВП 2,6–2,8 тыс. долл. США потери в сетях – 28–34%. Таким образом, в электрических сетях России фактические потери приблизительно в 2,5–3 раза выше, чем в электрических сетях промышленно развитых стран.

Из приведенных цифр видно, что имеется достаточно тесная связь потерь электроэнергии в электрических сетях различных стран не только с особенностями самих электрических сетей и их режимами, но и с экономикой этих стран. В странах с более развитой экономикой, как правило, выше техническая культура производства, передачи и распределения электроэнергии, используются более современные системы управления режимами работы электрических сетей, контроля и учета электроэнергии, в них живут и работают более платежеспособные и дисциплинированные потребители, действует четкая нормативно-правовая база и система тарифного регулирования. Однако простое сравнение относительных потерь электроэнергии в электрических сетях России и зарубежных электрических сетях без анализа этих потерь в сопоставимых условиях по протяженности сетей, по их структуре, их нагрузке, режимам работы и т.п. не всегда корректно. К сожалению, такой анализ в настоящее время никем не проводится, хотя был бы весьма полезным для изучения и применения передового опыта

По минимальным экспертным оценкам, потенциал снижения потерь электроэнергии в электрических сетях России составляет 20–25 млрд кВт•ч в год. Практическая реализация такого потенциала – комплексная задача, требующая значительных совместных усилий персонала электросетевых организаций, энергосбытов и потребителей электроэнергии. Она должна решаться непрерывно с учетом накопленного опыта и анализа лучших международных и отечественных практик. За многие годы эти практики выработали стандартный порядок действий (этапов) в разработке и реализации программ энергосбережения: постановка целей и задач энергосбережения, энергетические обследования, расчет и анализ, выбор и реализация энергосберегающих мероприятий; контроль результатов внедрения и действия по дальнейшему улучшению этих результатов.

Высокий уровень технических потерь в электрических сетях связан с низким уровнем компенсации реактивной мощности, 70-процентным физическим и моральным износом сети, с явно недостаточным использованием средств оптимизации режимов работы и регулирования напряжения, но первую очередь, с нерешенностью проблем с качеством электрической энергии (КЭЭ).

В настоящее время нет необходимости доказывать значимость проблемы КЭЭ. Так же, как и проблема энергоресурсосбережения она относится к числу важнейших проблем современной электроэнергетики и является частью проблемы повышения энергоэффективности электрических сетей.

Непрерывный рост установленной мощности нелинейных, несимметричных и резкопеременных нагрузок не всегда сопровождался своевременным внедрением решений, направленных на коррекцию КЭЭ, даже в промышленно развитых странах Западной Европы. Так, в распределительных сетях Швейцарии напряжением 230/400 В за период 1979–1991 гг. содержание высших гармоник (ВГ) возросло на 30%.

Особенно значительное влияние на энергоэффективность оказывает несинусоидальность напряжения, которая обусловлена интенсивным внедрением различного рода нелинейных нагрузок, подключаемых к электрическим сетям различного напряжения в последнее десятилетие. Это вызывает искажение (нормально синусоидальной) формы напряжения или тока не только у самого потребителя, но и во внешней сети. В случае превышения нормируемых уровней эти электромагнитные помехи могут не только привести к нарушению помехоустойчивости технических средств (в частности, устройств микропроцессорной релейной защиты) в энергосистеме, на электростанциях и подстанциях, но и повлиять на технологический процесс в системах электроснабжения. Электромагнитные помехи вызывают сбои и нарушения в работе цепей управления, ухудшают работу устройств автоматики, в значительной степени приводят к увеличению общего эффективного тока в фазовых и, в особенности, в нейтральных проводах элементов самой сети и в электрооборудовании. За счет них возрастают потери в сети, снижается коэффициент мощности, вызывая увеличение нагрева и перегрева всего электрооборудования и приводя к ускоренному старению изоляции не только силовых трансформаторов энергосистемы, но и всех электрических аппаратов электрических сетей.

В конечном итоге это приводит не только к ухудшению надежности изоляции электрооборудования и в отдельных случаях к быстрому выходу его из строя, но и к ухудшению экономических показателей энергетической эффективности электрических сетей. Другие показатели качества электрической энергии также оказывают влияние на энергоэффективность передачи электроэнергии по электрическим сетям, на надежность и экономические показатели электрооборудования сети и в конечном итоге влияют на условия их работы.

Снижение КЭЭ приводит не только к значительному снижению энергетической эффективности электрических сетей за счет увеличения потерь активной и реактивной мощности и электроэнергии, но и к снижению срока службы электрооборудования, а, следовательно, и к увеличению капитальных вложений в электрические сети, нарушению условий нормального функционирования энергетической системы.

Проблема качества электроэнергии неразрывно связана с проблемой надежности электроснабжения. В ряде энергообъединений России уровень (показатель или индекс) надежности находится в диапазоне 0,84–0,985, что ниже норматива, составляющего 0,996. Согласно энергетической стратегии России до 2030 года должна быть обеспечена вероятность бездефектной работы энергосистемы России до 0,9997, что соответствует нормативам США и Франции.

Вопросы КЭЭ рассматриваются в контексте проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС). ЭМС определяется, как способность электротехнического устройства удовлетворительно функционировать в его электромагнитном окружении, к которому принадлежат также другие устройства, не влияя на это окружение. Это определение применительно к СЭС предприятий оказывается неполным, ибо в круг вопросов ЭМС не включены СЭС с их особенностями усиления помех (например, в результате резонансных явлений), их деформации и даже генерирования (например, при коронных разрядах ВЛ). Таким образом, проблема КЭЭ является весьма широкой.

Экспертная оценка значения ежегодных потерь от низкого качества электроэнергии основана на известных цифрах: современное потребление электроэнергии в мире составляет примерно 20 трлн кВт·ч, потери от несоблюдения требований качества электроэнергии оцениваются величиной 500 млрд долл. Учитывая, что среднее значение тарифа на

электроэнергию 0,1 долл./кВт•ч, тогда удельный ущерб, обусловленный низким качеством электроэнергии, составляет  $500 \cdot 109 / 20 \cdot 1012 = 0,025$  долл./кВт•ч.

Экспертные оценки, выполненные нами, позволяют представить влияние электромагнитных помех в следующих цифрах. Применительно к СНГ в ее нынешних географических пределах ущерб, связанный с влиянием помех, достигает 10–12% от всего ущерба. Примерно таков же уровень оценки влияния помех в масштабах Украины по данным 2014 года.

Для предотвращения таких последствий или их ограничения необходимо организовать комплексный процесс управления КЭЭ, разработку и внедрение методических, организационных и технических мероприятий обеспечивающих выполнение существующих стандартов, норм и правил. Эти мероприятия в первую очередь должны быть реализованы в сетях потребителей электрической энергии, так как именно системы электроснабжения потребителей являются в большинстве случаев основными виновниками ухудшения КЭЭ.

Для обеспечения КЭЭ в странах ЕС были разработаны Европейским комитетом нормализации в области электротехники (CENELEC) нормы EN 50160. В странах Северной и Южной Америки, а также в некоторых африканских странах принят американский стандарт IEEE Std 519. В России принят межгосударственный стандарт ГОСТ 32144-2013, который соответствует европейскому региональному стандарту EN 50160:2010. Он разработан на основе применения ранее существовавшего ГОСТ Р 54149-2010 и введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2014 г.

Кроме этого в различных странах существуют и дополнительные нормативные документы по экономической оценке и нормализации КЭЭ. В существующем техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств», утвержденном решением комиссии таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 879, а также в других документах и стандартах по электромагнитной совместимости эти вопросы не затронуты. Установленные в настоящее время предельные значения коэффициента реактивной мощности в часы больших нагрузок свидетельствуют о некотором ужесточении требований к компенсации реактивной мощности в сравнении с ранее действовавшими нормативными документами, однако они не такие жесткие, как в промышленно развитых странах. В большинстве европейских стран величина коэффициента мощности в режиме максимальных нагрузок составляет не менее чем  $\cos \varphi = 0,92$ – $0,98$  в зависимости от напряжения сети. А в распределительных сетях Германии и многих энергосистемах США поддерживается значение  $\cos \varphi = 1$  ( $\text{tg } \varphi = 0$ ).

Как показывает практика, универсальным средством повышения пропускной способности электрических сетей, снижения потерь мощности и электроэнергии в них, регулирования напряжения в контрольных точках сети, снижения уровня высоких гармоник и несимметрии напряжений является компенсация реактивной мощности, внедрение различных типов фильтро-компенсирующих и симметрирующих устройств. К сожалению, по ряду причин работа по компенсации реактивной мощности в электрических сетях стран СНГ ведется явно недостаточно.

Первоочередные меры по активации работ и снижению потерь и повышению качества электроэнергии в электрических сетях:

- разработка и внедрение шкалы повышающих и понижающих коэффициентов к тарифам на электроэнергию за компенсацию реактивной мощности и качество электроэнергии в точках общего присоединения потребителей;
- разработка и утверждение допустимых требований к электроприемникам, содержащим нелинейную нагрузку по допустимым искажающим токам.