

# Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях

## Динамика, структура, методы анализа и мероприятия \*

**В. Э. Воротницкий**, доктор техн. наук, профессор, **М. А. Калинкина**, канд. техн. наук,  
**Е. В. Комкова**, канд. техн. наук, ОАО «ВНИИЭ», **В. И. Пятигор**, инженер ОАО «ФСК ЕЭС»

**К**ак было отмечено в начале статьи, снижение потерь электроэнергии в электрических сетях – сложная комплексная проблема, требующая значительных капитальных вложений, постоянного внимания персонала, его высокой квалификации и заинтересованного участия в эффективном решении задачи.

Опыт ОАО «ВНИИЭ» по разработке программ снижения потерь электроэнергии в электрических сетях показал, что снижение потерь электроэнергии на 1 млн кВт·ч/год требует как правило не менее 0,6–1,0 млн руб. в год на внедрение соответствующих мероприятий. При этом срок окупаемости этих затрат находится в пределах 2–8 лет и более. Поэтому так важен квалифицированный энергоаудит электросетевых организаций для разработки обоснованной программы действий, совершенствование организации работ по снижению потерь, учет «человеческого фактора», под которым понимается [1]:

- обучение и повышение квалификации персонала;
- осознание персоналом важности для предприятия в целом и для его работников лично эффективного решения поставленной задачи;
- мотивация персонала, моральное и материальное стимулирование;
- связь с общественностью, широкое оповещение о целях и за-

дачах снижения коммерческих потерь, ожидаемых и полученных результатах;

- ужесточение мер уголовной, административной и материальной ответственности за хищения электроэнергии.

Для того, чтобы требовать от персонала Энергосбыта, предприятий и работников электрических сетей выполнения нормативных требований по поддержанию системы учета электроэнергии на должном уровне, достоверному расчету технических потерь и выполнению мероприятий по их снижению, персонал должен знать эти нормативные требования и уметь их выполнять. Кроме того, он должен быть морально и материально заинтересованным в фактическом, а не формальном снижении потерь. Для этого необходимо проводить систематическое обучение персонала не только теоретически, но и практически, с переподготовкой и контролем усвоения знаний (экзаменами). Обучение должно проводиться для всех уровней – от руководителей подразделений, служб и отделов до рядовых исполнителей.

Руководители должны знать и уметь решать общие задачи управления процессом снижения потерь в сетях, исполнители – уметь решать конкретные задачи. Обучение должно преследовать не только цели получения новых знаний и навыков, но и обмена передовым опытом, его распространения во

всех предприятиях электрических сетей.

Однако одних знаний и умений недостаточно. В электросетевой организации должна быть разработана, утверждена и эффективно действовать система поощрения за снижение потерь электроэнергии в сетях, выявление хищений электроэнергии и обязательным оставлением части полученной прибыли от снижения потерь (до 50 %) в распоряжении персонала, получившего эту прибыль.

Очень важен контроль со стороны руководителей, предприятий электросетей и Энергосбыта за эффективностью работы контролеров, мастеров и монтеров РЭС с целью предотвращения получения личного дохода непосредственно с виновников хищений, «помощи» потребителям по несанкционированному подключению к сетям и т. п.

В конечном счете, в энергосистеме должен быть создан такой экономический механизм, который бы ставил в прямую зависимость рост зарплаты персонала от его квалификации, активности и эффективности действий в области снижения потерь.

Решающее значение на эффективность снижения потерь оказывает организация работы по реализации соответствующей программы действий, в ходе которой необходимо:

- подготовить и выпустить соответствующий приказ дирекции электросетевой организации,

\* Окончание. Начало статьи см. в журнале «Энергосбережение» 2005. № 2. С. 90–94

определяющий структуру и схему взаимодействия подразделений с назначением ответственных за решение задач, указанием сроков выполнения этапов и системы контроля исполнения поручений;

- обеспечить назначенную приказом группу ответственных специалистов соответствующими полномочиями и материальными средствами, определив объемы и источники финансирования этих средств и проекта в целом;

- установить строгую и четкую систему управления проектом, обеспечить текущий контроль за его ведением и оценку полученных результатов.

Общее руководство практической реализацией программы, контролем и анализом результатов должен осуществлять один из первых руководителей электросетевой организации.

Выбор обоснованного перечня приоритетных мероприятий по снижению технических и коммерческих потерь электроэнергии невозможен без детального расчета структуры потерь, расчета фактических и допустимых небалансов электроэнергии по фидерам, центрам питания и электрической сети в целом. Так как технические и особенно ком-

мерческие потери электроэнергии сосредоточены в основном в электрических сетях 0,38–110 кВ, наибольшее внимание должно быть уделено уточнению расчетов балансов и технических потерь в электрических сетях именно этого класса напряжения.

Одним из наиболее известных и распространенных в отечественных электрических сетях является разработанный ОАО «ВНИИЭ» совместно с ООО «Энергоэкспертсервис» комплекс программ РТП 3 [2, 3], который предназначен для расчета технических потерь мощности и электроэнергии в сетях 0,38–220 кВ и для расчета допустимых и фактических небалансов электроэнергии в сети 0,38–6 (10) кВ. РТП 3 состоит из программ РТП 3.1, РТП 3.2, РТП 3.3.

#### РТП 3.1

- расчет установившегося режима с определением токов и потоков мощности в ветвях, уровней напряжения в узлах, коэффициентов загрузки линий и трансформаторов в разомкнутых электрических сетях 6(10), 35, 110, 220 кВ;

- расчет потерь мощности и электроэнергии в разомкнутых электрических сетях 6 (10), 35, 110, 220 кВ;

- расчет токов короткого замыкания в разомкнутых электрических сетях 6 (10), 35, 110, 220 кВ;

- расчет потерь электроэнергии в приборах учета (трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, счетчики);

- расчет потерь электроэнергии в дополнительном оборудовании: в вентильных разрядниках, шунтирующих реакторах, синхронных компенсаторах, ограничителях напряжения, в устройствах присоединения ВЧ-связи, в соединительных проводах и шинах подстанции, от токов утечки по изоляторам воздушных линий;

- формирование сводной таблицы норматива потерь электроэнергии по ступеням напряжения с разбивкой на структурные составляющие.

#### РТП 3.2

- расчет установившегося режима с определением токов и потоков мощности в ветвях, уровней напряжения в узлах, коэффициентов загрузки линий в разомкнутых электрических сетях 0,38 кВ;

- расчет потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ.

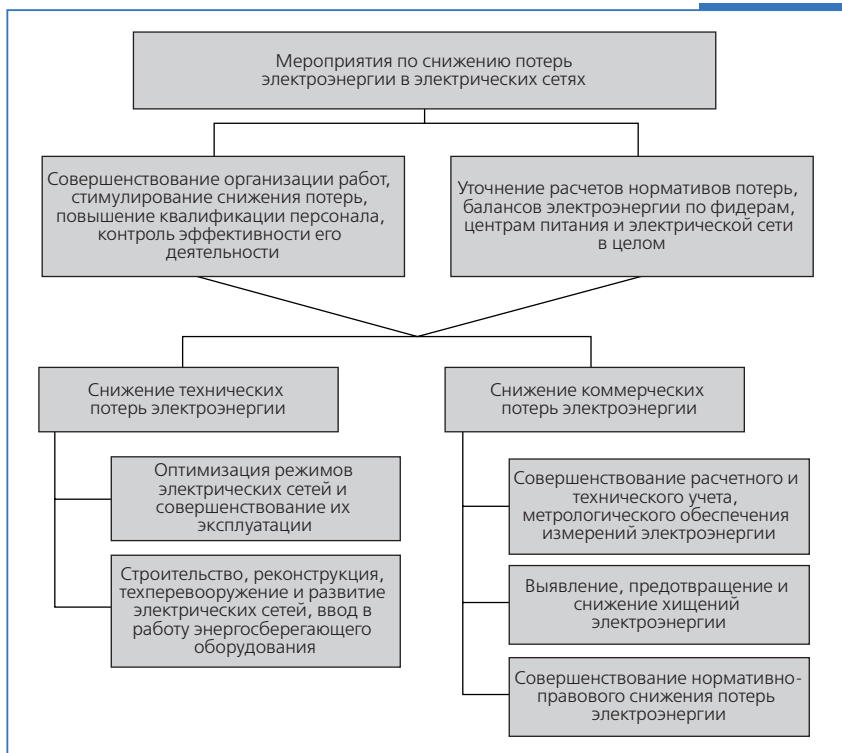
#### РТП 3.3

- ведение баз данных по потреблению электроэнергии абонентами с привязкой их точек учета к схеме сети;

- расчет допустимого, фактического небалансов и количества неучтенной электроэнергии в разомкнутых электрических сетях.

Программа РТП 3.1 предназначена для расчета установившегося режима с определением технических потерь мощности и электроэнергии в разомкнутых распределительных сетях 6-220 кВ. Расчет включает в себя определение токов и потоков мощностей по ветвям, уровней напряжений в узлах, нагрузочных потерь мощности и электроэнергии в линиях и трансформаторах, потерь холостого хода, коэффициентов загрузки линий и трансформаторов. Расчет ведется с помощью базы данных, которая содержит схемные и режимные параметры распределительных сетей.

Интерфейс программы удобен и прост, что позволяет сократить



▼ Рис. 1. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии

затраты труда на подготовку и расчет электрической сети. Ввод схемы существенно облегчается и ускоряется набором редактируемых справочников. При возникновении каких-либо вопросов во время работы с программой всегда можно обратиться за помощью к справке или к инструкции пользователя.

С помощью программы за один рабочий день оператор может ввести информацию для расчета технических потерь по 30 распределительным линиям 6 (10) кВ средней сложности.

Для наглядности некоторые результаты выводятся на расчетную схему фидера (токи в ветвях, уровни напряжения в узлах, токовая нагрузка на трансформаторах, потоки энергии, токи короткого замыкания). Предусмотрено цветовое отображение загруженных элементов.

токов, уровней напряжения, отпусков электроэнергии. С помощью этих данных можно сразу рассчитать все фидеры или выборочно, предварительно не открывая для просмотра рассчитываемую схему.

В программе предусмотрен гибкий режим редактирования, который позволяет вводить любые необходимые изменения исходных данных, схем электрических сетей.

Максимально удобен режим печати. Пользователь всегда может распечатать схему фидера, предварительно просмотрев, как и на каком количестве листов размещается схема (при необходимости изменяется масштаб для вывода изображения на печать).

Программа выполняет различные проверки исходных данных и результатов расчета.

В программе РТП 3.2, предназначенной для расчета устано-

та по обобщенным данным электрической сети.

Расчет режимных параметров и потерь мощности и электроэнергии в сети 0,38 кВ с использованием расчетной схемы можно выполнять по исходным данным, полученным непосредственно для линии 0,38 кВ или по данным трансформаторной подстанции (введенным пользователем или рассчитанным программой). Все расчеты выполняются с учетом несимметричной загрузки фаз, исполнения участков и привязки абонентов к сети. Результатами расчета являются: относительные и абсолютные потери мощности и электроэнергии по каждому участку линии, уровни напряжения в узлах, относительные потери напряжения (в процентах от номинального и заданного в центре питания), коэффициент дополнительных потерь от несимметричной загрузки фаз, максимальное значение потерь напряжения. Результаты расчета и исходные данные по всей базе электрических сетей 0,38 кВ можно сохранять в зависимости от метода расчета в соответствующих таблицах для создания базы результатов расчета по всем фидерам. В таблице суммируются результаты расчета по ТП 6 (10)/0,4 кВ, фидерам 6 (10) кВ, центрам питания, районам электрических сетей, по всем электрическим сетям.

В комплексе программ РТП 3.3 для расчета баланса электроэнергии необходима информация о фактическом полезном отпуске электроэнергии абонентов и классах точности приборов. Если расчеты выполняются по фидеру 6 (10) кВ, а не по сети 0,38 кВ, то дополнительно следует выполнить привязку абонентов и их точек учета электроэнергии к трансформаторным подстанциям.

Расчет баланса выполняется по заданному активному отпуску электроэнергии на головном участке линии за рассчитываемый период, среднему напряжению за этот период на шинах питающей подстанции и коэффициенту мощности. Происходит формирование нагрузки в узлах сети – это сумма потребленной электроэнергии по всем привязанным к этой трансформаторной подстанции точкам

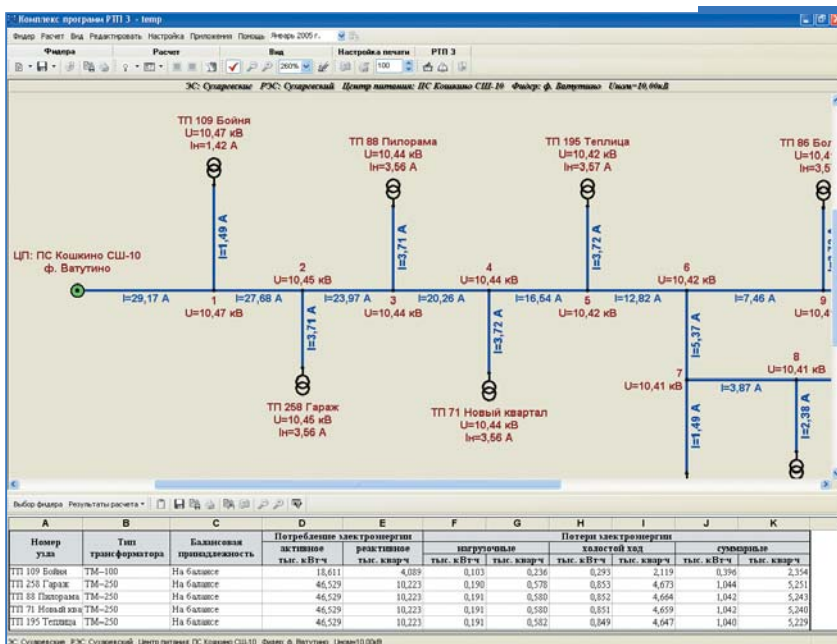


Рис. 2. Результаты расчета потерь мощности и электроэнергии

Детальные результаты расчета потерь мощности и электроэнергии состоят из двух таблиц с подробной информацией о параметрах режима и результатах расчета по ветвям и узлам фидера.

Все результаты расчета можно сохранять в текстовом формате или формате Excel.

Для облегчения расчета всей совокупности фидеров, хранящихся в базе, существует файл замеров, в который заносятся замеры

взвешенных режимов, потерь мощности и электроэнергии в сетях 0,38 кВ, реализовано несколько методик расчета с использованием схем электрической сети и без них. Без ввода схем можно выполнять расчеты по наиболее распространенной в практике эксплуатации методики расчета по потере напряжения от трансформаторной подстанции до наиболее электрически удаленной точки сети и по оценочному методу расче-

учета. Допустимый небаланс электроэнергии определяется по погрешностям измерительных каналов точек учета в соответствии с заданными классами точками и по доле зафиксированного счетчиком количества электроэнергии от суммарного количества электроэнергии, поступившего на фидер.

Результатами расчета баланса электроэнергии являются: фактический и рассчитанный полезный отпуск; технические потери электроэнергии в линиях и трансформаторах; фактический небаланс электроэнергии в абсолютных и относительных единицах; относительный допустимый небаланс электроэнергии, количество неучтенной электроэнергии.

Методики расчета и комплекс программ прошли экспертизу РАО «ЕЭС России» на соответствие отраслевым нормативным требованиям и допущены к использованию в электроэнергетике для расчетов потокораспределения, потерь мощности и электроэнергии, отклонений напряжения в узлах, токов короткого замыкания, оценки последствий оперативных переключений в разомкнутых электрических сетях в нормальных, ремонтных и послеаварийных режимах.

На комплекс программ получен сертификат соответствия требованиям нормативных документов Госстандарта России № РОСС RU.СП12.С0005 и лицензия на применение знака соответствия системы сертификации ГОСТ Р.

Комплекс программ рекомендован Госстроем России для практического применения в коммунальных электрических сетях.

Программный комплекс РТП 3 эффективно используется более чем в семидесяти электросетевых предприятиях, в четырех региональных управлениях Госэнергонадзора и трех региональных энергетических комиссиях. По результатам внедрения РТП 3 награжден председателем оргкомитета Всероссийской специализированной выставки «Энергосбережение в регионах России», руководителем Госэнергонадзора Минэнерго РФ дипломом второй степени.

На основе анализа результатов расчета балансов и технических

потерь электроэнергии, локализации «очагов» потерь разрабатываются соответствующие мероприятия по их снижению.

Мероприятия по снижению технических потерь электроэнергии достаточно хорошо известны. Их типовой перечень и методы оценки экономической эффективности включены в Инструкцию [4].

Основной эффект при снижении технических потерь электроэнергии может быть получен за счет технического перевооружения, реконструкции, повышения надежности работы и пропускной способности электрических сетей, сбалансированности их режимов, т. е. за счет внедрения капиталоемких мероприятий. Эти мероприятия нашли отражение в концепциях развития и перевооружения электрических сетей на период до 2010 года, разработанных институтами Энергосетьпроект и РОСЭП (Сельэнергопроект).

Основными из этих мероприятий, кроме достаточно хорошо известных, для системообразующих электрических сетей 110 кВ и выше являются:

- налаживание серийного производства и широкое внедрение регулируемых компенсирующих устройств для оптимизации потоков реактивной мощности и снижения недопустимых или опасных уровней напряжения в узлах сетей, в том числе управляемых шунтируемых реакторов, статических компенсаторов реактивной мощности;
- строительство новых линий электропередачи и повышение пропускной способности существующих линий для выдачи активной мощности от «запертых» электростанций для ликвидации дефицитных узлов и завышенных транзитных перетоков.

Очевидно, на ближайшую и удаленную перспективу останутся актуальными оптимизация режимов электрических сетей по активной и реактивной мощности, регулирование напряжения в сетях, оптимизация загрузки трансформаторов, выполнение работ под напряжением и т. п.

К приоритетным мероприятиям по снижению технических по-

терь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4–35 кВ относятся:

- использование 10 кВ в качестве основного напряжения распределительной сети;
- увеличение доли сетей напряжением 35 кВ;
- сокращение радиуса действия и строительство воздушной линии 0,4 кВ в трехфазном исполнении по всей длине;
- применение самонесущих изолированных и защищенных проводов для воздушной линии напряжением 0,4–10 кВ;
- использование максимально допустимого сечения провода в электрических сетях 0,4–10 кВ с целью адаптации их пропускной способности к росту нагрузок в течение всего срока службы;
- разработка и внедрение нового более экономичного электрооборудования, в частности, распределительных трансформаторов с уменьшенными активными и реактивными потерями холостого хода, встроенных в комплектную и закрытую трансформаторные подстанции конденсаторных батарей;
- применение столбовых трансформаторов малой мощности 6–10/0,4 кВ для сокращения протяженности сетей 0,4 кВ и потерь электроэнергии в них;
- более широкое использование устройств автоматического регулирования напряжения под нагрузкой, вольтодобавочных трансформаторов, средств местного регулирования напряжения для повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь;
- комплексная автоматизация и телемеханизация электрических сетей, применение коммутационных аппаратов нового поколения, средств дистанционного определения мест повреждения в электрических сетях для сокращения длительности неоптимальных ремонтных и послеаварийных режимов, поиска и ликвидации аварий;
- повышение достоверности измерений в электрических сетях на основе использования новых информационных технологий, автоматизации обработки телеметрической информации.



Необходимо сформулировать новые подходы к выбору мероприятий по снижению технических потерь и оценке их сравнительной эффективности в условиях акционирования энергетики, когда решения по вложению средств принимаются уже не с целью достижения максимума «народнохозяйственного эффекта», а получения максимума прибыли данного АО, достижения запланированных уровней рентабельности производства, распределения электроэнергии и т. п.

Рассмотренная нами в первой части статьи структура коммерческих потерь электроэнергии позволяет наметить пути их снижения.

Основной стратегический путь этого снижения – совершенствование учета отпущенной в электрическую сеть и полезно потребленной электроэнергии. Мероприятия по совершенствованию и повышению точности учета электроэнергии достаточно хорошо известны. Их типовой перечень включен в инструкцию [4], а некоторые дополнения к нему рекомендованы в циркуляре РАО «ЕЭС России» от 23.0.99 №01-99 (Э).

На сегодняшний день становится все более очевидным, что главными направлениями совершенствования системы учета электроэнергии являются:

- замена старых, отработавших свой ресурс индукционных счетчиков класса точности 2,5 на новые. Это позволит в среднем повысить учитываемый полезный отпуск электроэнергии на 10–12 %;

- проверка и метрологическая аттестация трансформатора тока и трансформатора напряжения в рабочих условиях эксплуатации, создание и внедрение соответствующих поверочных средств для измерительных трансформаторов всех ступеней напряжения;

- установка дополнительных счетчиков электроэнергии, трансформаторов тока и трансформаторов напряжения, обеспечивающих учет отпуска и потерь электроэнергии по ступеням напряжения;

- активизация внедрения автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) на электрических станциях, подстан-

циях, у крупных потребителей с постепенным переходом к внедрению АСКУЭ бытового потребления;

- информационная и функциональная увязка АСКУЭ и автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ);

- создание автоматизированных баз данных по потребителям электроэнергии (юридическим и физическим лицам) с их привязкой к электрическим сетям для контроля за динамикой объема потребления электроэнергии по месяцам и годам и ее соответствия динамике объема выпускаемой продукции, например; расчета и анализа фактических и допустимых небалансов электроэнергии по электрическим сетям;

- корректировка правил устройства электроустановок, строительных норм и правил проектной документации для защиты бытовых электросчетчиков от хищений и разрушения потребителями, ужесточение мер ответственности за неисполнение;

- широкое внедрение счетчиков прямого включения с предоплатой.

Практическая реализация перечисленных мероприятий требует значительных капиталовложений и времени и позволит уменьшить коммерческие потери электроэнергии максимум на 30–35 %.

В условиях общего спада на грузки и отсутствия средств на развитие, реконструкцию и техперевооружение электрических сетей становится все более очевидным, что каждый вложенный рубль в совершенствование системы учета сегодня окупается значительно быстрее, чем затраты на повышение пропускной способности сетей и даже на компенсацию реактивной мощности.

Еще примерно 30–35 % коммерческих потерь — это хищения электроэнергии. Борьба с хищениями электроэнергии должна вестись планомерно, постоянно и по всем направлениям возможных хищений, начиная с оснащения контролеров приборами по выявлению скрытых проводок, образцовыми однофазными счетчиками, токоизмерительными клещами на телескопических изолирующих штангах для измерения токов на

вводах и т. п. до замены голых проводов на вводах в частные владения на изолированные кабели; выноса приборов учета за границу частных владений; применения счетчиков электроэнергии, защищенных от хищений электроэнергии, в том числе установки счетчиков совместно с устройствами защитного отключения и т. п.

Для эффективного решения перечисленных задач должна быть существенно повышена роль и активность служб метрологии электросетевых организаций в части:

- контроля технического состояния и соблюдения сроков госповерки приборов расчетного и калибровки приборов технического учета электроэнергии;

- разработки мероприятий по совершенствованию схемы расстановки приборов расчетного и технического учета электроэнергии в общесистемных и распределительных сетях;

- устранения причин появления на электростанциях и подстанциях 35–110 кВ фактического небаланса электроэнергии, превышающего допустимый;

- разработки и выполнения мероприятий по дальнейшему совершенствованию учета и отпущенной потребителям электроэнергии;

- создания и использования автоматизированных рабочих мест метролога (АРМ-метролог) в электросетевых предприятиях для более достоверного расчета допустимых небалансов электроэнергии на подстанциях и в сетях с учетом баз данных по реальным метрологическим характеристикам счетчиков, трансформаторов тока и трансформаторов напряжения;

- разработка и внедрение местных методик выполнения измерений электрической мощности и электроэнергии на основе типовых методик (РД 34.11.334-97 и РД 34.11.333-97 [5]).

С учетом рассмотренной выше структуры коммерческих потерь электроэнергии и мероприятий по их снижению, на основании Закона РФ «Об обеспечении единства измерений» и ГОСТ Р 8.563-96 «ГСИ. Методики выполнения измерений», представляется целесообразным разработать Типовую

методику выполнения измерений потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций.

Это позволит привести методы выполнения измерений отчетных и расчета технических потерь в строгое соответствие с Законом РФ и с ГОСТ Р 8.563-96, повысить объективность оценки погрешностей потерь электроэнергии и, в конечном счете, более обоснованно подойти к выбору мероприятий по снижению потерь.

Наконец, последние 30–35 % коммерческих потерь, обусловленных неодновременностью оплаты коммунально-бытовыми потребителями за электроэнергию, ручным съемом показаний электросчетчиков, неумышленными ошибками в снятии показаний, можно снизить за счет повышения уровня работы с потребителями, эффективности их обслуживания, активной пропаганды в средствах массовой информации важности решения проблемы снижения потерь в сетях для уменьшения уровня тарифов на электроэнергию.

Одним из главных условий реального внедрения мероприятий по снижению потерь электроэнергии, особенно связанных со снижением уровня хищений электроэнергии, является создание соответствующей нормативно-правовой базы. Отсутствие в настоящее время утвержденных нормативных документов, в первую очередь Правил пользования энергией в Российской Федерации, новых документов по снижению потерь электроэнергии в условиях реформирования электроэнергетики, по метрологическому обеспечению измерений электроэнергии значительно осложняет работу энергоснабжающих организаций, часто сводит на нет проделанную работу по выявлению хищений электроэнергии, т. к. находится много «защитников», активно мешающих принять действенные санкции к похитителям. Таким «защитникам» необходимо понять, что рост потерь электроэнергии в сетях не выгоден никому, ни энергоснабжающей организации (т. к. у нее увеличиваются убытки), ни потребителям (т. к. у них в конечном счете вы-

растут тарифы и воровать придется еще больше).

ОАО РАО «ЕЭС России» и ОАО «ФСК ЕЭС», призванные проводить единую техническую политику в электроэнергетике должны выделять соответствующее финансирование на нормативно-правовое обеспечение снижения потерь электроэнергии, т. к. при его отсутствии убытки от отсутствия этого обеспечения могут очень быстро перекрыть кажущуюся экономию на его создании.

Необходимо сотрудничество ОАО «ФСК ЕЭС» и его ведущих научных институтов с Федеральной службой по тарифам, Министерством по налогам и сборам, Минпромэнерго России по вопросам нормирования потерь электроэнергии в электрических сетях, особенно на стадиях формирования новых оптового и розничного рынков электроэнергии, когда еще отсутствует полноценная технологическая инфраструктура этих рынков, отсутствует информационная база для достоверных измерений фактических потерь электроэнергии и расчета нормативных потерь. В этих условиях методики учета потерь в тарифах на электроэнергию должны достаточно динамично корректироваться и совершенствоваться по мере их апробации.

Необходимо, наконец, сформулировать в УК РФ понятие «хищения электроэнергии», дать ему четкое определение и установить жесткие меры ответственности при их выявлении, что позволит предотвратить вполне возможный их рост с увеличением тарифов на электроэнергию для коммунально-бытовых потребителей.

#### **Выводы**

1. Потери электроэнергии в сетях можно и нужно снижать. Это выгодно всем – и энергоснабжающим организациям и потребителям.

2. Чтобы обеспечить устойчивое снижение потерь или их поддержание на технико-экономическом обоснованном уровне, необходим комплексный подход к проблеме, начиная с совершенствования организации работы и заканчивая метрологическим обеспечением учета электроэнер-

гии, техническим перевооружением и модернизацией сетей.

3. Необходимо обеспечить прозрачность расчета нормативов и структуры потерь как для себя, так и для контролирующих органов.

4. Стратегическое направление снижения потерь в сетях – обеспечение нормальной, соответствующей современным требованиям системы учета электроэнергии, создание АСКУЭ, в том числе АСКУЭ БП, исключение системы самосписания потребителями показаний приборов учета электроэнергии.

5. Одним из основных условий снижения потерь в сетях должно быть создание нормативно-правовой основы для активного воздействия на потребителей, нарушающих правила пользования электроэнергией.

#### **Литература**

1. Воротницкий В. Э., Загорский Я. Т., Апряткин В. Н. и др. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в городских электрических сетях // Электрические станции. 2000. № 5. С.

2. Воротницкий В. Э., Заслонов С. В., Калинкина М. А. Программа расчета технических потерь мощности и электроэнергии в распределительных сетях 6–10 кВ. // Электрические станции. 1999. № 8. С.

3. Воротницкий В. Э., Заслонов С. В., Калинкина М. А. Новые возможности комплекса программ РТП 3 по расчету и нормированию потерь электроэнергии, анализу режимных параметров в распределительных сетях 0,38–110 кВ // Сборник докладов международного научно-технического семинара 15–19 ноября 2004 года «Нормирование, анализ и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях-2004». М.: Изд-во «НЦ ЭНАС», 2004.

4. Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений. М.: СПО Союзтехэнерго. 1987.

5. Сборник нормативных и методических документов по измерениям, коммерческому и техническому учету электрической энергии и мощности. М.: Издательство «НЦ ЭНАС», 1998. ■