

УДК 621.315

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Петрушина В.П.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Лимонов А.И.

При транспортировке и передачи электроэнергии в электросетях, убытки неизбежны. Очень важно, чтобы они не превышали экономически установленный уровень. Для устранения чрезмерных потерь необходимо установить причину их возникновения и найти способы снижения.

Убытками электроэнергии является разница между передаваемой электроэнергией потребителям и поступившей до них.

Общепринято выражать потери по ставке. Показатель ставок позволяет проводить сравнения между компаниями, а в компаниях - по годам.

Существует три основных фактора, которые используются для классификации и расчетов величины потерь:

1. Технологический фактор – зависит непосредственно от происходящих физических процессов, меняется в связи с постоянными издержками, нагрузки и климатических условий;

2. Коммерческая составляющая – причиной являются погрешности приборов;

3. Фактор затрат – расходы на обеспечение необходимых условий для работы и эксплуатацию вспомогательного оборудования.

Рассмотрим технологический фактор в целом:

**Нагрузочные потери** зависят от суммарного напряжения в электросетях (расход в трансформаторах и в ЛЭП). Зачастую потери увеличиваются в ЛЭП, когда на станции увеличивают силу тока при транспортировке электроэнергии на большие расстояния.

К **условно-постоянным потерям** относят непосредственно холостую работу в силовых установках и затраты на оборудование, компенсирующее реактивную мощность.

**Джоулевые потери:** джоулевые потери являются основной составляющей транспортных потерь. Эти потери вызваны током, протекающим через линии и трансформаторы. Удельное сопротивление сети является ключевым фактором, вокруг которого воспроизводится большая часть потерь. Элементы транспортной сети оказывают различное сопротивление транспортировке груза. Удельное сопротивление сети как функция времени устанавливается с помощью инструментов сетевого анализа, включая программное обеспечение для распределения электроэнергии. Потери по эффекту Джоуля рассчитываются путем интегрирования квадрата часовой нагрузки на сеть как функции удельного сопротивления. Оценка потерь подтверждается регрессией профиля нагрузки сети.

**Железные потери:** потери в железе представляют собой сумму гистерезисных потерь и потерь на вихревые токи. Намагниченность трансформаторных листов является источником потерь в железе. Эти потери

имеют две причины: гистерезис и вихревые токи. Потери гистерезиса: магнитный материал, подверженный переменному полю, так как он описывает полный цикл гистерезиса, поглощает энергию, равную площади цикла, умноженной на объем образца. Потери на вихревые токи: это токи, индуцированные в металлической массе магнитопровода. Действительно, когда проводящие металлические детали погружены в переменные магнитные поля, это вызывает паразитные токи в этих частях.

**Потери от эффекта короны:** зачастую вблизи провода с высоким электрическим потенциалом поле может стать достаточно интенсивным, чтобы вызвать ионизацию молекул воздуха. Образованные таким образом ионы захватываются электростатической силой и имеют тенденцию двигаться вдоль силовых линий, что вызывает утечки. Эти потери усиливаются в сырую погоду или в результате осадков (снег, дождь и т. д.). Потери короны зависят от натяжения линии и количества осадков. Исследование потерь на корону проводится с учетом характеристик линий электропередачи (длина цепи и трасса на уровень напряжения), частоты осадков и экспериментальных данных.

**Потери в шунте:** происходят от заземленных устройств, таких как устройства компенсации, измерения и защиты. На эти потери в шунте влияют уровень напряжения и коэффициент использования устройств. Конденсаторы и индукторы периодически работают для контроля напряжения. Каждое из этих устройств потребляет небольшое количество тока для работы, но их большое количество приводит к относительно большим потерям. Рассматриваемое оборудование включает индукторы, статические и синхронные компенсаторы, конденсаторы и разрядники.

**Потери от утечки:** в основном связаны с потерями в изоляторах и изоляторах подземных линий. Эти утечки устанавливаются в зависимости от количества цепей изоляторов и коэффициента использования линий под напряжением.

**Индукционные потери:** потери в результате электромагнитной индукции возникают в результате индукции тока в замкнутых параллельных цепях, таких как провода неизолированного ограждения в точке их опоры. Эти потери оцениваются с учетом используемого на каждом уровне напряжения, количества защитных кабелей, а также амплитуды тока, наведенного в защитных кабелях.

Как упоминалось ранее, коммерческая составляющая связана с погрешностями оборудования, измеряющего отпускаемую электроэнергию:

**Потери при снятии показаний:** самой распространенной ошибкой рабочих является нарушение графика снятия данных с устройств.

Известны такие явления как **хищение электроэнергии и уменьшенный отпуск электроэнергии потребителям:** зачастую возникают потери вследствие ошибочных данных о потребителях электроэнергии и заключенных договорах на энергопотребление, недобросовестном контроле в выставлении счетов, неверных расчетов потребленной энергии. Если речь идет об умышленном хищении электроэнергии, то существует три основных способа:

- механический (встревание в работу электросчетчика);

- электрический (изменение коэффициента мощности нагрузки);
- магнитный (нарушение процесса работы электросчетчика магнитом).

Наряду с человеческим фактором, значительную долю убытков приносят непосредственно ошибочные схемы подключения и неисправность трансформаторов тока и напряжения, а также существенные погрешности учетного оборудования.

На рисунке 1 представлена среднестатистическая диаграмма потерь на энергетическом предприятии.

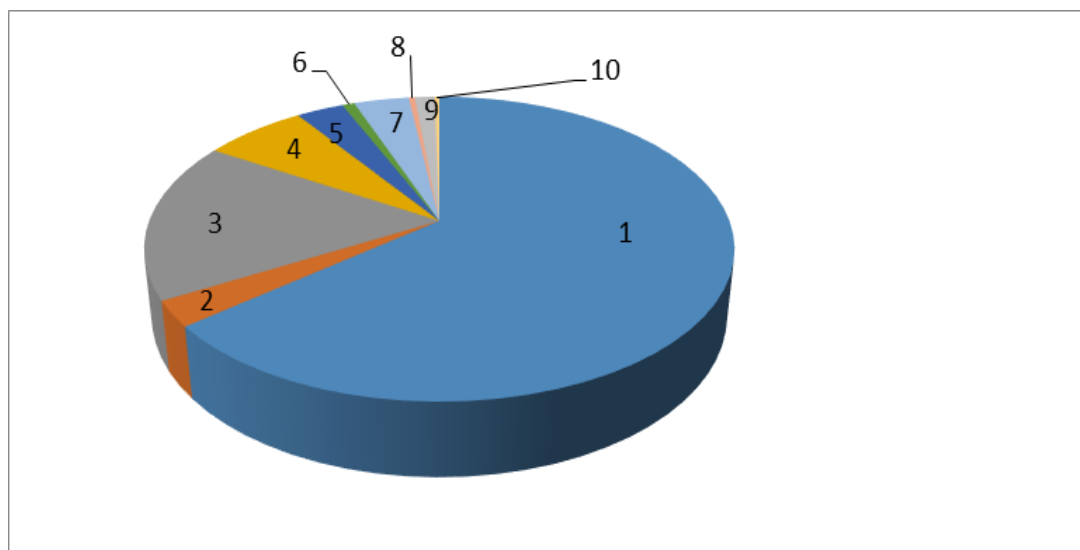


Рисунок-4. Примерная структура потерь

1-Нагрузочные воздушные линии (64%); 2-нагрузочные в трансформаторе и автотрансформаторе (АТ) (2,7%); 3-эффект короны (17,0%); 4-холостой ход АТ (6,7%); 5-собственные нужды и подстанции (3,1%); 6-компенсирующие устройства (0,8%); 7-шунтирующие реакторы (3,6%); 8-потери в измерительных трансформаторах (0,4%); 9-утечка по изоляторам (1,3%); 10-прочие (0,3%).

Из представленной выше диаграммы следует, что наибольшее число потерь идет на передачу электроэнергии по воздушным линиям электропередачи, а также эффект короны.

Международные эксперты в области энергетики считают, что общие убытки электроэнергии считаются приемлемыми, если они составляют не больше 4–5%. В Республики Беларусь, по официальным данным, эти потери составляют среднем 11,13%.

Удовлетворительный уровень технических потерь представляет собой уровень, при котором расчет прибыли проходит вовремя и с учетом некоторых экономических параметров. К примеру, ставка дисконтирования, стоимость потерь, справочные затраты на конструкции и оборудование и т.д.

Для всей электрической системы, а также для отдельных ее элементов, умеренный процент избытков определяется экспертами следующим образом:

- для всей электрической системы (производство, транспортировка и распределение) подходит от 9% до 10%, а 17% - максимально допустимый;
- для транспортной сети подходят от 2% до 3% и максимально

допустимые 6%.

С целью уменьшения убытков электроэнергии созданы мероприятия, разделяющиеся на две основные группы:

Первая группа: снижению технических потерь. В свою очередь, они разделяются на: организационные (для своего внедрения не требуют существенных дополнительных затрат) и технические (запрашивают дополнительные денежные средства).

В свою очередь, технические мероприятия подразделяются на две категории: с целевым эффектом снижения потерь (используются специально для снижения убыли) и с сопутствующим эффектом снижения потерь (организуются для развития и модернизации электрических сетей).

Вторая группа: по совершенствованию системы учета электроэнергии.

К ней относят действия, применимы для минимизирования коммерческих потерь, так как главная цель этой группы – модернизировать и совершенствовать оборудование учета отпускаемой сети электроэнергии.

Изучив основные причины потерь при транспортировке электроэнергии, можно предложить несколько вариантов их устранения:

- основной способ минимизировать нерациональные убытки – усовершенствовать режим работы электросети и модернизировать электрооборудование;

- с целью сокращения потерь в железе следует использовать ферромагнитный материал с наименьшим циклом гистерезиса.

- для уменьшения потерь на вихревые токи подходит ламинированный сердечник, состоящий из изолированных друг от друга листов. Размер петель вихревых токов ограничивается толщиной листа. Чем меньше петли, тем меньше потери;

- чтобы устранить убытки от утечки необходимо исследовать статическую мощность и выявить мощные узлы нагрузки, а также нормировать нагрузку автотрансформаторов.

Ознакомившись с нецелевыми расходами электроэнергии в масштабе предприятия, рассмотрим потери при передаче электричества в бытовых условиях.

Прежде всего, на потери может влиять такой фактор, как коэффициент мощности. Еще в советское время оплата за использование электроэнергии рассчитывалась с учетом коэффициента мощности нагрузки. Если потребитель выполнял минимальное значение коэффициента мощности нагрузки (0.95 вар), оплата была минимальной. А при снижении коэффициента меньше этого значения, оплата возрастала. Такая система стимулировала потребителей увеличивать мощность нагрузки, что приводило к уменьшению энергетических потерь. Чтобы обеспечить коэффициент мощности нагрузки 1вар с любым типом нагрузки, было создано такое устройство как тиристорно-дрессельный компенсатор.

На сегодняшний день в Беларуси при передаче электроэнергии потребителям не учитывается реактивная мощность и коэффициент мощности нагрузки, невзирая на то, что у потребителей есть счетчики активной и

реактивной энергии. Для компенсации реактивной индуктивной мощности применяются конденсаторы со ступенчатой системой регулирования, вследствие которой возможна как избыток компенсации, так и ее недостаток.

Синусоидальность напряжения. Зачастую, по вине потребителей электроэнергии возникает несинусоидальность напряжения. Это обусловлено тем, что такие первичные источники электроэнергии, как синхронные генераторы создают напряжение почти синусоидальной формы. В том случае, если у потребителя отсутствует нелинейная нагрузка, напряжение сохраняет синусоидальность. Однако у многих потребителей электроэнергии есть нелинейная нагрузка, что приводит к расходу из сети несинусоидального тока. Таким образом и возникает несинусоидальное падение напряжения.

Чем больше мощность источника, тем меньше его внутреннее сопротивление. А источники с малой мощностью имеют большое внутреннее сопротивление. Самая большая несинусоидальность напряжения появляется при высоком сопротивлении линии электропередачи во время подключения нелинейной нагрузки к источнику соизмеримой мощности, а самая малая – при подключении нелинейной нагрузки к источнику высокой мощности.

С точки зрения энергосбережения, важную роль играет КПД оборудования. Чем ниже коэффициент полезного действия, тем больше электроэнергии на единицу продукции потребляет оборудование. Из-за технические сложности измерения, КПД не нормируется на большей части установок. Дело в том, что для определения КПД оборудования с любым приводом необходимо знать мощность на валу, для чего надо измерить момент на валу и число оборотов. Измерить число оборотов несложно. Для этого можно использовать тахометр. А вот простых методов измерения момента на валу не существует. Среди часто используемых – электромагнитный тормоз, система генератор постоянного тока – электродвигатель, тензометрическая установка. На большинстве предприятий по изготовлению оборудования с электроприводом таких установок нет, и во время испытания оборудования или в процессе эксплуатации КПД зачастую не измеряют. В связи с этим, специалисты не могут проконтролировать значение КПД, а значит неизвестно, какие лишние потери электроэнергии происходят во время использования оборудования с электроприводом. Только применение современного частотного электропривода, предусматривает измерение КПД, но такой электропривод есть на малом количестве предприятий.

Также существует возможность экономии электроэнергии на освещении.

На сегодняшний день для освещения все еще распространено применение лампы накаливания, в которых всего лишь 5–10 % электроэнергии тратится на формирование светового потока, а остальная часть идет на тепло. Для решения этой проблемы начали использовать энергосберегающие лампы, потребление электроэнергии которых примерно в 5 раз меньше, чем у ламп накаливания при том же световом потоке. Минус в применении энергосберегающих ламп – высокая цена и относительно недолгий срок службы. Поэтому в последнее время начали приобретать светодиодные лампы. У них высокая светоотдача и срок службы составляет 50–100 тысяч часов. Хотя Беларусь, как многие



страны, пока не освоила производство светодиодов, однако уже совсем скоро мы придем к их производству.

Таким образом, можно внести основные предложения по уменьшению потерь электроэнергии в бытовом масштабе:

- взять за основу старую систему оплаты за электричество, которая осуществлялась в зависимости от коэффициента мощности нагрузки;
- промышленным предприятиям следует приобрести анализаторы качества электроэнергии. Данные об их показаниях помогут получить верные данные о качестве электроэнергии;
- разобраться с компенсацией реактивной емкостной мощности в высоковольтных ЛЭП, увеличить количество управляемых реакторов.
- сделать проще метод измерения КПД электрооборудования, в дальнейшем осуществлять обследования по проверке этого КПД на предприятиях. Такой метод поможет обнаружить возможности минимизировать убыль электроэнергии.

### Литература

1. Амичба, К. В. Эффективность использования постоянного тока при транспортировке электроэнергии / К. В. Амичба ; науч. рук. М. Л. Протасеня // Актуальные проблемы энергетики : материалы 74-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет ; ред. Т. Е. Жуковская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 160–161.
2. Блястик, Ю. И. Потери энергии в электрических сетях и мероприятия по их снижению / Ю. И. Блястик, О. А. Лодова ; науч. рук. Л. В. Прокопенко // Актуальные проблемы энергетики : материалы 65-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 250-251.
3. Машко, А. В. Потери энергии в электрических сетях и мероприятия по их снижению / А. В. Машко, А. А. Сокольников; науч. рук. Л. В. Прокопенко // Актуальные проблемы энергетики : тезисы докладов научно-технической конференции студентов и аспирантов (апрель 2013 года) / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 56.
4. Поспелов, Е. Г. Потери электроэнергии от перетоков реактивных мощностей в электрических сетях и пути их ограничения / Е. Г. Поспелов, Г. Е. Поспелов // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика : международный научно-технический и производственный журнал. – 2008. – № 6. – С. 10 – 17.
5. Потери электроэнергии в сетях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://multiring.ru/eor/html/752/content/66352/66352.htm/>. – Дата доступа: 28.10.2019.
6. Фурсанов, М. И. Оптимальные технические потери электроэнергии в распределительных электрических сетях / М. И. Фурсанов // Энергетическая стратегия. – 2016. – № 3. – С. 25 – 28.
7. Шведов Г.В., Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / Шведов Г.В. - М. : Издательский дом МЭИ, 2017. - ISBN 978-5-383-01218-5 - Режим доступа: <https://library.geotar.ru/book/ISBN9785383012185.html/>. – Дата доступа: 06.05.2020.