

6. Осика, Л.К. Коммерческий и технический учет электрической энергии на оптовом и розничном рынках. – М.: Политехника, 2015.
7. Постановление Правительства РФ №442 от 04.05.2012.
8. Тигунцев, С.Г. О вкладе потребителя в качество электрической энергии. – М.: Вестник СФУ, 2013. – С. 106-120.
9. Темербаев, С.А. Анализ качества электроэнергии в городских распределительных сетях. – М.: Энергетика и промышленность России, 2007.
10. Федосов, Д.С. Разработка метода оценки влияния потребителей на несинусоидальность и несимметрию напряжений в электрической сети: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 2014.
11. ФЭ №35. Об электроэнергетике.
12. <https://proryvnpp.ru/pribor-pke/>
13. <http://printsip.ru/analizatory-kachestva-elektroenergii>
14. <https://www.elpribor.ru/catalog/98/1066/>
15. <http://www.entp.ru/documentation/UF2>

УДК 621.316

Н.В. Савина, В.А. Гамолин

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ КОМПЛЕКСАХ

Учитывая постоянно возрастающую стоимость электрической энергии, минимизация потерь электроэнергии представляют собой одну из основных задач для электросетевых комплексов. В данной работе предложен алгоритм выбора оптимального набора мероприятий по снижению потерь электроэнергии для электросетевых компаний.

Ключевые слова: потери электроэнергии, мероприятия по снижению потерь, структурный анализ, очаги повышенных потерь.

DEVELOPMENT OF TOOLS TO REDUCE ELECTRIC POWER LOSSES IN DISTRIBUTIVE NETWORK COMPLEXES

Given the ever-increasing cost of electrical energy, minimizing of power losses is one of the main tasks for the electric grid systems. In this paper, we propose an algorithm for selecting activities to reduce power losses for electric grid companies.

Key words: power losses, activities to reduce power losses, structural analysis, focus of increased power losses.

Высокий уровень потерь электроэнергии в электросетевых комплексах свидетельствует о накапливающихся в них проблемах, которые требуют безотлагательных решений в реконструкции и техническом перевооружении электрических сетей. Решение проблемы потерь электроэнергии в электрических сетях относится к «Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации», утвержденным Указом Президента Российской Федерации от 7 июля

2011 г. № 899 (п. 8 «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика») [1], и потому входит в ранг первоочередных задач в области электроэнергетики.

Наиболее глубоко проблема высокого уровня потерь проявляется в распределительных электрических сетях. Снижение этого уровня необходимо не только для повышения экономичности и эффективности функционирования электрических сетей, что в свою очередь ведет к снижению эксплуатационных издержек распределительных сетевых комплексов (РСК) и повышению прибыли компаний, но и для снижения тарифов на электроэнергию.

Минимизация потерь электроэнергии в РСК возможна за счет разработки и реализации комплекса мероприятий, направленных на их оптимизацию. Несмотря на то, что в настоящее время известно много работ по методам расчета, анализу потерь электроэнергии и выбору мероприятий по их снижению [2-4], проблема обеспечения приемлемого уровня потерь в условиях эксплуатации до сих пор не решена.

Целью данной работы является разработка инструментария, позволяющего в условиях эксплуатации добиться оптимального значения потерь электроэнергии с минимальными затратами.

Для реализации заявленной цели были решены следующие задачи:

- 1) разработка алгоритма выбора оптимального набора мероприятий, обеспечивающего максимальное снижение потерь;
- 2) иллюстрация последовательности действий по снижению потерь на примере действующего РСК.

В условиях эксплуатации применяют укрупненную структуру потерь электроэнергии, в которой потери разделены на составляющие, исходя из их физической природы и специфики методов определения их количественных значений [2]. Структура фактических потерь электроэнергии при их разделении по такому критерию приведена на рис. 1.

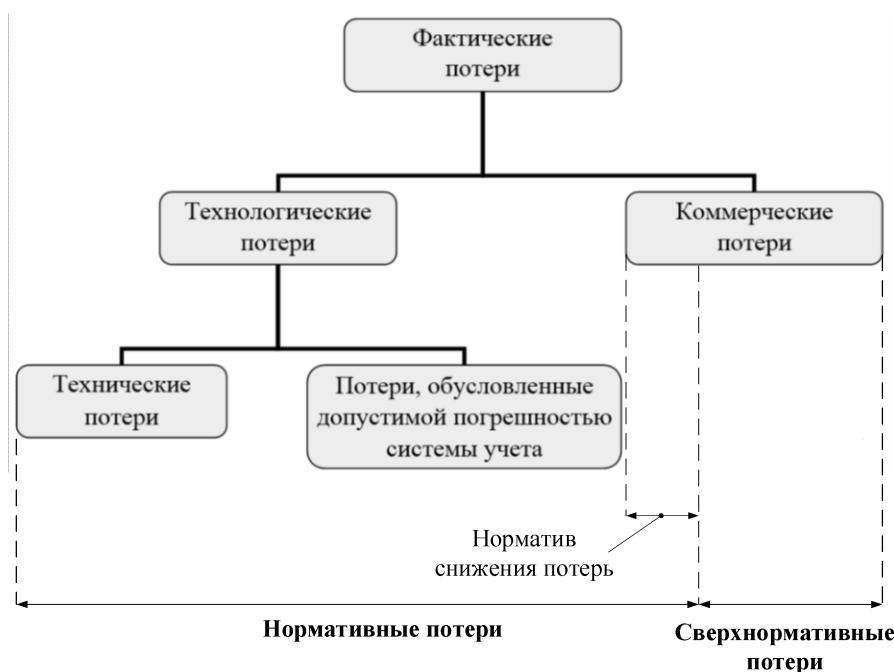


Рис. 1. Укрупненная структура фактических потерь электроэнергии.

Укрупненная структура фактических потерь не дает наглядного представления об уровне потерь в тех или иных ее составляющих и не позволяет оценить реальную ситуацию в сети. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в сетях на основании только укрупненной структуры фактических потерь не представляется возможным ввиду ее малой информативности. Чтобы осуществить выбор оптимального набора мероприятий по минимизации потерь, предлагается порядок действий, представленный на рис. 2.

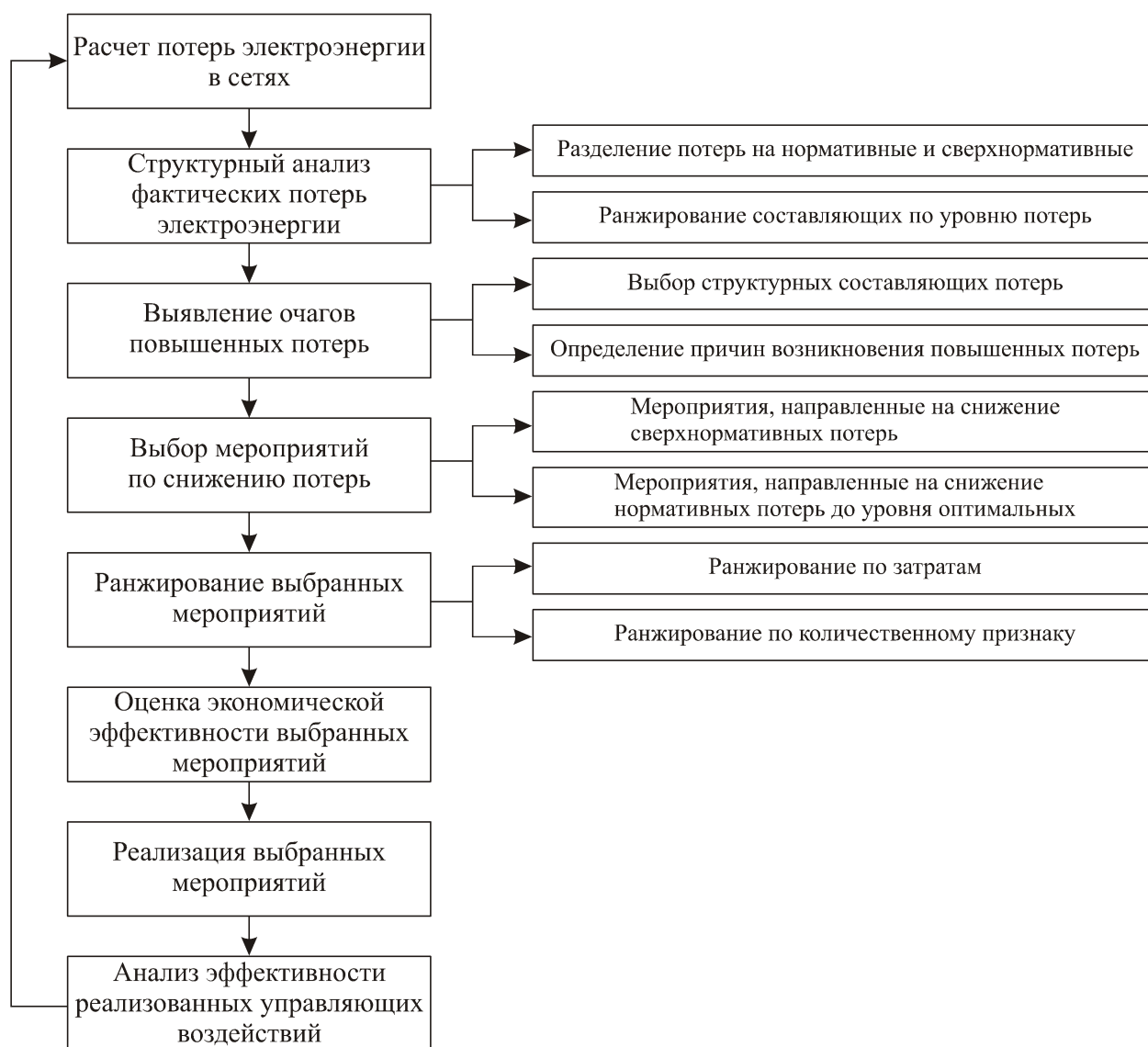


Рис. 2. Алгоритм выбора мероприятий по снижению потерь.

Для выбора оптимального набора мероприятий в первую очередь необходимо провести расчет фактических потерь электроэнергии РСК. Расчеты потерь электроэнергии в сетях для решения задач повышения экономичности функционирования электросетевого комплекса относятся к внутри-объектным технико-экономическим задачам. Для решения таких задач требуется максимально возможная детализация расчетов, с определением потерь в каждом элементе сети [3]. Это необходимо для дальнейшего анализа уровня потерь. Технологические потери электроэнергии являются нормативной составляющей фактических потерь и должны рассчитываться в соответствии с [5]. Коммерческие потери невозможно измерить приборами и рассчитать по самостоятельным формулам. Они определяются математически как разность между фактическими и технологическими потерями электроэнергии.

На основании рассчитанных количественных показателей фактических потерь электроэнергии проводится детализация структуры потерь. Технические потери разделяют на нагрузочные (зависящие от нагрузки электрической сети) и условно-постоянные (величина которых не зависит или незначительно зависит от параметров режима сети).

Среди нагрузочных потерь выделяются потери в ЛЭП, в силовых трансформаторах и автотрансформаторах. По причине малой величины и сложности расчета нагрузочные потери в остальных элементах электрической сети – таких, как токоограничивающие реакторы, соединительные провода

и шины распределительных устройств подстанций определяют на основе удельных и включают в состав условно-постоянных потерь. Условно-постоянные потери разделяются на потери холостого хода в оборудовании, климатические потери и потери на собственные нужды подстанций (ПС).

Конечной целью структурного анализа полученного состава фактических потерь является ранжирование структурных составляющих по уровню потерь и выявление очагов повышенных потерь. Очагами повышенных потерь являются участки сетей или подстанции с наибольшими потерями, они определяются на основании численных значений составляющих фактических потерь в сети. Чем детальнее и глубже будет произведен структурный анализ состава фактических потерь, тем точнее будут определены очаги повышенных потерь. Это позволит достичь большего эффекта при меньших затратах на реализацию мероприятий по их минимизации.

В настоящее время разработано множество мероприятий по минимизации потерь электроэнергии. Чтобы грамотно подобрать мероприятия по снижению уровня потерь для той или иной составляющей структуры фактических потерь, необходимо определить причины возникновения этих потерь. Были систематизированы основные причины высокого уровня потерь электроэнергии и рекомендуемые мероприятия по их минимизации, они приведены в таблице.

Рекомендуемые мероприятия в зависимости от структурной составляющей потерь электроэнергии

Составляющие потерь	Основные причины возникновения потерь электроэнергии	Рекомендуемые мероприятия
1	2	3
Коммерческие	1) недостаток энергосбытовой деятельности и хищения электроэнергии; 2) погрешности расчета технических потерь; 3) погрешности измерений отпущенной в сеть и полезно отпущенной потребителям электроэнергии.	1) модернизация систем учета электроэнергии; 2) определение и снижение методической погрешности расчета технических потерь; 3) борьба с хищениями электроэнергии; 4) разработка системы поощрений за снижение потерь электроэнергии; 5) повышение эффективности работы метрологических служб компаний; 6) снижение потерь при выставлении счетов; 7) расчет коммерческих потерь как финансовых убытков компании.
Технические	1) неоптимальные режимы работы сетей, характеризующиеся большой дисперсией активной и реактивной мощностей; 2) отклонения напряжений в узлах; 3) недостаток регулирующих средств, отсутствие и (или) неудовлетворительная компенсация реактивной мощности; 4) неравномерность графиков электрических нагрузок; 5) несоответствие используемого оборудования существующим нагрузкам; 6) искажение качества электроэнергии.	1) оптимизация уровней напряжения в распределительных сетях; 2) компенсация реактивной мощности и управление потоками реактивной мощности; 3) повышение качества электроэнергии; 4) оптимизация режимов в распределительных сетях; 5) оптимизация схемы электрических сетей и мест размыкания; 6) комплексная автоматизация и телемеханизация электрических сетей; 7) сокращение длительности неоптимальных ремонтных и послеаварийных режимов; 8) упорядочение мощностей трансформаторов на подстанциях и обеспечение их экономически целесообразного режима; 9) перевод протяженных сетей на более высокий уровень напряжения и замена неизолированных проводов на изолированные; 10) замена перегруженных линий и оборудования электрических сетей; 11) строительство новых линий и центров питания.

Продолжение таблицы

1	2	3
Погрешности, обусловленные допустимой погрешностью систем учета	1) низкий технический уровень систем учета электроэнергии; 2) низкая наблюдаемость сетей из-за недостаточного количества измерительных комплексов электроэнергии, отсутствия средств телеизмерений, неэффективного учета электроэнергии; 3) работа измерительных комплексов и систем не в классе точности.	1) определение оптимальных мест установки средств учета электроэнергии; 2) определение пригодности измерительных трансформаторов и счетчиков электроэнергии к учету; 3) замена индукционных счетчиков электроэнергии на электронные в узлах сети в соответствии с сенсорным анализом; 4) снижение систематической составляющей погрешности учета электропотребления; 5) автоматизация учета и контроля электроэнергии.

В первую очередь следует рассматривать мероприятия, направленные на снижение сверхнормативных потерь, поскольку затраты, связанные с их оплатой, не компенсируются тарифным регулированием и являются прямыми убытками сетевой компании. Далее выбираются мероприятия, направленные на снижение нормативных потерь, для структурных составляющих с наибольшей долей фактических потерь. Снижение уровня нормативных потерь позволит сетевой компании снизить оплату покупаемой электроэнергии для компенсации потерь электроэнергии у гарантирующего поставщика.

Для достижения максимального эффекта необходим комплексный подход при выборе оптимального набора мероприятий по снижению потерь. Для этого следует произвести ранжирование мероприятий, выбранных на основании выявленных очагов повышенных потерь, по необходимым затратам и по количественному признаку. В ходе ранжирования по затратам мероприятия нужно разделить на мало-, средне- и крупнозатратные. Это позволит разработать необходимый комплекс мероприятий по снижению потерь, с выделением малозатратных как приоритетных. В первую очередь в их число следует включать режимные мероприятия, поскольку они не требуют затрат. Если малозатратные мероприятия не позволяют достичь оптимального уровня потерь в сети, необходимо рассматривать среднезатратные технические и организационные мероприятия, и лишь в последнюю очередь – крупнозатратные. К средне- и крупнозатратным относятся мероприятия, направленные на реконструкцию и модернизацию сетей. Ранжирование по количественному признаку осуществляется на основании количества объектов, на которое рассчитано выбранное управляющее воздействие.

Следующим этапом является оценка экономической эффективности выбранных мероприятий. Цель его – количественная оценка ожидаемого экономического эффекта от реализации выбранных мероприятий. Основной задачей стоимостной оценки результатов реализации мероприятий является оценка выручки и окупаемости.

Рассмотрим представленный алгоритм на конкретном примере – структуре фактических потерь электроэнергии в сетях одного из РСК (рис. 3).

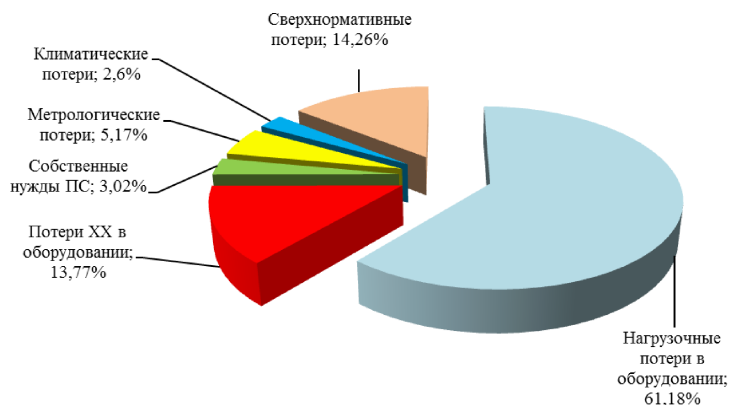


Рис. 3. Структура фактических потерь электроэнергии в сетях РСК.

Смоделируем ситуацию, когда в ходе реализации первого этапа мероприятий по снижению потерь были полностью устранены очаги сверхнормативных потерь. Далее рассмотрим составляющие технологических потерь. Из представленной структуры видно, что большая часть (61 %) от суммарного объема фактических потерь электроэнергии в РСК приходится на нагрузочные потери. Структура нагрузочных потерь по видам оборудования представлена на рис. 4.

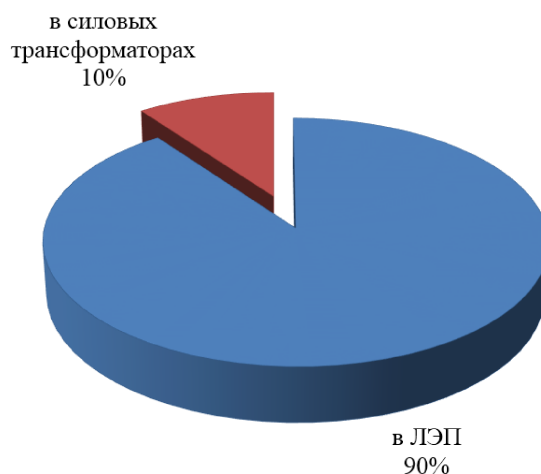


Рис. 4. Структура нагрузочных потерь электроэнергии.

Как видно, 90% нагрузочных потерь электроэнергии составляют потери в проводниках линий электропередач (ЛЭП). Для выбора точечных управляющих воздействий разделим нагрузочные потери в ЛЭП по классам номинального напряжения. Представим полученный состав потерь (рис. 5).

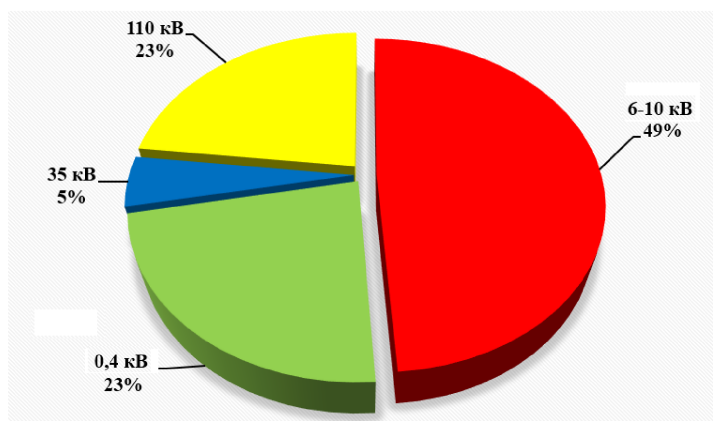


Рис. 5. Состав потерь в ЛЭП.

Таким образом, исходя из структурного анализа потерь, делаем вывод, что в данном случае очагом повышенных потерь являются нагрузочные потери в ЛЭП 6-10 кВ.

Следующий этап после определения источника наибольших потерь в сети – выбор организационных и технических мероприятий по минимизации потерь электроэнергии. К малозатратным мероприятиям, направленным на снижение уровня нагрузочных потерь в сетях 6-10 кВ, относятся:

1. Оптимизация уровней напряжения в распределительных сетях.

В сетях 6-10 кВ следует применять встречное регулирование напряжения, т.е. напряжение должно быть наиболее высоким в период больших нагрузок и наиболее низким – в период малых нагрузок. Если в сетях 6-10 кВ в центре питания (ЦП) стоят трансформаторы с ПБВ, то функции обеспечения регулирования напряжения в этих ЦП переносятся на трансформатор с РПН в ЦП сети более высокого напряжения. За счет регулирования уровней напряжения в сети можно достичь изменения потокораспределения реактивной мощности, тем самым увеличить пропускную способность сети и снизить потери электроэнергии.

2. Железко, Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. – М.: ЭНАС, 2008. – 280 с.
3. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2016. – 456 с.
4. РД 34.09.254-86 Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений. – М.: СПО «Союзтехэнерго», 1987.
5. Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. Приказ Минэнерго РФ от 30 декабря 2008 г. № 326. Зарегистрирован в Минюсте РФ 12 февраля 2009 г. № 13314.
6. Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации. Утверждена распоряжением Правительства РФ № 511-р от 03.11.2013.
7. Воротницкий, В.Э. Снижение потерь электроэнергии – важнейший путь энергосбережения в электрических сетях // Энергосбережение. – 2014. – № 3. – С. 61-64.

УДК 264.01

А.Г. Ротачева, О.О. Сапожник

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Совершенствование технологии электробезопасности при эксплуатации мобильных зданий и сооружений, обеспечивающее сокращение трудозатрат и сроков выполнения работ, с учетом выполнения безопасного и качественного монтажа.

Ключевые слова: модульные здания, электробезопасность, молниезащита, зануление, устройство защитного отключения, заземление.

IMPROVING THE SAFETY OF USING MOBILE BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

Improving the electrical safety technology of operating mobile buildings and structures, ensuring a reduction in labor costs and work completion dates, taking into account the implementation of safe and high-quality installation.

Key words: modular buildings, electrical safety, lightning protection, vanishing, residual current device, grounding.

Быстровозводимые модульные здания (БМЗ) – относительно новая система модульного строительства малоэтажных жилых домов, а также зданий производственного назначения из блок-модулей. Главное преимущество системы БМЗ – возможность возведения зданий и сооружений в сроки, существенно меньшие, чем это предусмотрено для аналогичных капитальных зданий по правилам продолжительности строительства. Модульные быстровозводимые здания не рассчитаны на длительнейшую транспортировку и разборку, а срок их службы может быть аналогичен сроку службы капитального здания, поэтому такие сооружения являются в мировой практике самыми популярными и востребованными.

2. Оптимизация мест размыкания электрической сети.

Электрические сети 6-10 кВ (городские), как правило, выполняются замкнутыми, но работают в нормально разомкнутом режиме. На своих участках они имеют разное сечение проводов и являются неоднородными. В замкнутой неоднородной сети протекают уравнивающие мощности и естественное потокораспределение отклоняется от экономического, соответствующего минимуму потерь. В этих условиях необходимо производить переключения в сети с целью отыскать оптимальные точки размыкания по критерию минимума потерь за счет изменения потокораспределения.

В качестве среднетратных мероприятий выбираем:

1. Компенсация реактивной мощности.

Установка и ввод в эксплуатацию устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) позволяет обеспечить управление потоками реактивной мощности в распределительных сетях. Размещение УКРМ в непосредственной близости к потребителям электроэнергии является приоритетным, поскольку, помимо снижения уровня потерь, это также средство повышения пропускной способности сети и метод регулирования уровня напряжения.

2. Замена проводов на головных участках ЛЭП.

По мере повышения нагрузок на головных участках сети протекают токи, превышающие экономически целесообразные значения для данных сечений. Замена проводов на большее сечение на перегруженных участках ЛЭП за счет изменения их параметров позволит увеличить пропускную способность линий и снизить уровень потерь.

3. Изменение топологии сети.

В данном случае подразумевается установка дополнительных коммутационных аппаратов в существующей сети с целью создания новых мест размыкания замкнутой сети.

Среди крупнотратных мероприятий выделим следующие:

1. Перевод электрической сети (участков сети) на более высокий класс напряжения.

Переход с используемого повсеместно класса напряжения 6(10) кВ на напряжение 20 кВ – одно из перспективных направлений развития распределительного электросетевого комплекса [1, 6]. Основными преимуществами перевода сетей на более высокое напряжение являются снижение потерь электроэнергии, увеличение пропускной способности линий и увеличение дальности обслуживания для протяженных сетей [7].

2. Оптимизация загрузки электрических сетей.

Минимизация потерь электроэнергии возможна за счет разукрупнения существующих линий электропередачи, строительства новых линий и центров питания для возможности оптимизации распределения нагрузки между подстанциями основной сети, внедрения управляемых автоматически секционируемых электрических сетей с применением вакуумных реклоузеров.

В данной статье предложенная технология рассмотрена на примере нагрузочных потерь в ЛЭП 6-10 кВ, однако описанная последовательность действий при выборе мероприятий, направленных на минимизацию уровня потерь, применима и к другим составляющим фактическим потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях и может использоваться в РСК в качестве инструкции при составлении программ мероприятий по снижению потерь.

Таким образом, разработан алгоритм выбора мероприятий, направленных на снижение потерь электроэнергии, отличающийся от существующих подходов точечным воздействием на очаг повышенных потерь по каждой структурной составляющей потерь и обеспечивающий максимум их снижение при минимальных затратах.

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе». Утверждено Советом директоров ПАО «Россети». Протокол № 252 от 22.02.2017.