

*Методы уменьшения потерь  
мощности в питающих сетях*

*Выполнил:  
Коновалов И.В.*

Оптимизация режима питающей сети по реактивной мощности, напряжению и коэффициентам трансформации является одним из основных организационных мероприятий по снижению потерь электроэнергии. Задача оптимизации состоит в определении установившегося режима электрической сети, при котором были бы выдержаны технические ограничения и потери активной мощности в сети были бы минимальными. При решении этой задачи считаются заданными активные мощности электрических станций  $P_{ri}$ , за исключением станции в узле баланса, а также активные и реактивные мощности узлов нагрузки  $P_{ni}$ ,  $Q_{ni}$ . Учитываются ограничения-равенства в виде уравнений установившегося режима и ограничения-неравенства на контролируемые величины. Целевой функцией являются потери активной мощности в сети  $\Delta P$ .

При оптимизации учитываются ограничения по напряжениям во всех узлах, в том числе и в узлах нагрузки, не имеющих средств регулирования, по реактивным мощностям генерирующих источников и по коэффициентам трансформации трансформаторов, а также по токам в контролируемых линиях.

*Задача оптимизации режима сети по  $U$ ,  $Q$ ,  $n$ , т.е. задача уменьшения потерь, часто не может решаться в полном объеме из-за отсутствия соответствующих средств регулирования и управления режимом. В ряде случаев нет резервов по  $Q$ , отсутствуют или имеются в недостаточном количестве средства регулирования напряжения, автоматические регуляторы напряжения (АРН) на трансформаторах с РПН иногда работают ненадежно, и в эксплуатационной практике их стараются не использовать при автоматическом управлении режимом. Надо вести оптимизацию режима сети с учетом имеющихся средств управления и регулирования  $U$  и  $Q$ .*

*Поэтому в инженерной практике большое значение имеют частные задачи оптимизации режима сети по  $U$ ,  $Q$ ,  $n$ . Эти частные задачи могут и должны в автоматизированной системе диспетчерского управления (АСДУ) на различных уровнях временной и территориальной иерархии ДУ. Решение каждой из рассмотренных в данном параграфе частных задач оптимизации режима сети по  $U$ ,  $Q$ ,  $n$  приводит к относительному минимуму потерь мощности, но является важным и целесообразным в соответствующих случаях.*

*Задача оптимизации сети может быть разделена по ступеням диспетчерской иерархии на следующие частные задачи:*

- 1) регулирование уровня напряжения по сети в целом или отдельным ее участкам;*
- 2) снижение влияния неоднородности сети за счет регулирования комплексных коэффициентов трансформации, т.е. регулирование потоков мощности в неоднородных замкнутых контурах сети;*
- 3) размыкание сетей;*
- 4) оптимальное распределение реактивной мощности между ее источниками.*

*Результаты решения этих задач оптимизации режима сети можно объединять и корректировать по имеющимся ограничениям. При современном развитии ЭВМ и АСДУ, как правило, такое сведение и корректировка частных задач менее эффективны, чем оптимизация режима сети по  $U$ ,  $Q$ ,  $n$ . Каждая из рассмотренных четырех частных задач оптимизации режима может оказаться эффективной при использовании мини- или микро-ЭВМ. Целесообразность такого использования должна быть в каждом конкретном случае обоснована расчетным анализом величины погрешности, которая возникает из-за решения частной задачи вместо оптимизации режима.*

Эта погрешность связана с тем, что в некоторых случаях минимум частной задачи может приводить к увеличению потерь мощности во всей системе, т.е. условия минимумов частной и общей задач оптимизации режима сети могут быть противоречивы. В условиях АСДУ применение любой из указанных выше частных задач должно проводиться после расчетного обоснования ее непротиворечивости и согласованности с общей задачей оптимизации режима сети по  $U$ ,  $Q$ ,  $n$ .

**Уровень напряжения** в питающей сети - это некоторое среднее его значение для сети данной ступени трансформации в целом или какой-то ее части. Представление об уровне напряжения является тем более целесообразным, что его регулирование есть одна из наиболее эффективных мер снижения потерь активной мощности питающей сети. Повышение уровня рабочего напряжения приводит к уменьшению потерь мощности в сети.

Примем, что нагрузочные потери в исходном режиме в относительных единицах  $\Delta P_H = 1$ . Нагрузочные потери при повышении всех напряжений на  $\Delta U = \Delta U / U_{НОМ}$  можно оценить следующим образом:

$$\Delta P_{H\Delta U} = \frac{1}{1+2*\Delta U+\Delta U^2}$$

После простых преобразований нагрузочные потери можно записать так:

$$\Delta P_{\text{н}\Delta U} = 1 - 2\Delta U \quad (1)$$

Относительные потери холостого хода при

одновременном увеличении всех напряжений на  $\Delta U$  на основании выражения для потерь в поперечной индуктивности, определяются так:

$$\Delta P_{\text{х}\Delta U} \simeq 1 + 2\Delta U \quad (2)$$

Из выражения (1) следует, что одновременное увеличение всех напряжений на  $\Delta U$  приводит к снижению нагрузочных потерь в данной части сети приблизительно на  $2\Delta U$ . Таким образом, нагрузочные потери с ростом напряжения уменьшаются. При увеличении всех напряжений на  $\Delta U$  потери холостого хода в трансформаторах в соответствии с (2) увеличиваются приблизительно на  $2\Delta U$ . Отметим, что потери холостого хода в трансформаторах зависят от подводимого напряжения к их ответвлениям, а не от уровня напряжения в сети. Регулируя ответвления трансформаторов, можно снижать в них потери холостого хода.

Рассмотренные выше закономерности практически полностью характеризуют положение в электрических сетях с номинальным напряжением до 220 кВ, для которых наивыгоднейшим является наивысший допустимый уровень напряжения.

При этом ограничивающими являются допустимые уровни напряжения по условиям работы изоляции и по условиям регулирования напряжения в распределительных сетях. При повышении уровня напряжения в таких сетях улучшаются и другие показатели работы сети. Снижаются потери  $Q$  (их относительная величина уменьшается приблизительно на  $2\Delta U$  и увеличивается генерация  $Q$  емкостью сети.

Если сеть имеет сравнительно не большую протяженность, то это может привести к снижению необходимой суммарной мощности компенсирующих устройств. Во многих случаях это одновременно приводит к некоторому увеличению пропускной способности линий (ее относительная величина вырастает приблизительно на  $\Delta U$ ). В сетях, а также на отдельных линиях сверхвысоких напряжений положительный эффект от регулирования уровня напряжения может получиться еще более значительным. При повышении рабочего напряжения могут несколько расти потери на корону в воздушных линиях. Однако потери на корону в линиях 110-220 кВ незначительны. Они составляют заметную величину лишь в линиях 330 кВ и выше. Регулирование уровня напряжения принципиально возможно только при наличии регулирующих устройств на границах рассматриваемого участка сети. При этом важной является одновременность действия всех этих устройств.

Таким образом, поддержание рабочего напряжения в сети на предельно допустимом высшем уровне рационально с точки зрения снижения потерь мощности и электроэнергии. Для этого необходимо располагать достаточным арсеналом регулирующих устройств и обеспечить положительный баланс реактивной мощности в основных узлах сети. С точки зрения обеспечения требований к качеству напряжения у потребителей на вторичных шинах понижающих трансформаторов необходимо добиться напряжения 1,05 - 1,1 номинального для режимов максимальных и номинального - для режимов минимальных нагрузок.

**Снижение влияния неоднородности замкнутых сетей - эффективное мероприятие, уменьшающее потери мощности и электроэнергии.**

Применение замкнутых сетей было вызвано главным образом соображениями повышения надежности электроснабжения потребителей. Предполагалось также снижение потерь мощности по сравнению с разомкнутыми схемами. Однако последнее всегда реализуется только для однородных сетей. Для этих сетей справедливо отношение:

$$e_i = \frac{x_i}{r_i} = \text{const} \quad (3)$$

где  $e_i$  - показатель неоднородности ветви  $i$ . В неоднородной сети отношения активных и реактивных сопротивлений (или проводимостей) для различных ветвей различны. «Естественное» распределение активных и реактивных мощностей определяется по полной схеме замещения, т. е. по схеме с  $r$  и  $x$ . Распределение мощности в сети, соответствующее минимуму потерь, называют «экономическим». Можно показать, что минимуму потерь активной мощности в сети с  $r$  и  $x$  соответствует такое распределение мощностей  $P$  и  $Q$ , которое имеет место в сети только с активными сопротивлениями  $r$ . Рассмотрим одноконтурную сеть на рис. 12.6, а. Естественное распределение токов в ветвях 1 и 2 определяется следующими выражениями:

$$I_1 = I_H * \frac{z_2}{z_1+z_2}; I_2 = I_H * \frac{z_1}{z_1+z_2} \quad (4)$$

Где  $z_1$  и  $z_2$  - комплексные сопротивления ветвей.

Экономическое распределение токов определяется так:

$$I_{1э} = I_H * \frac{r_2}{r_1+r_2}; I_{2э} = I_H * \frac{r_1}{r_1+r_2} \quad (5)$$

Где  $I_{1э}$  и  $I_{2э}$  - токи экономического режима;

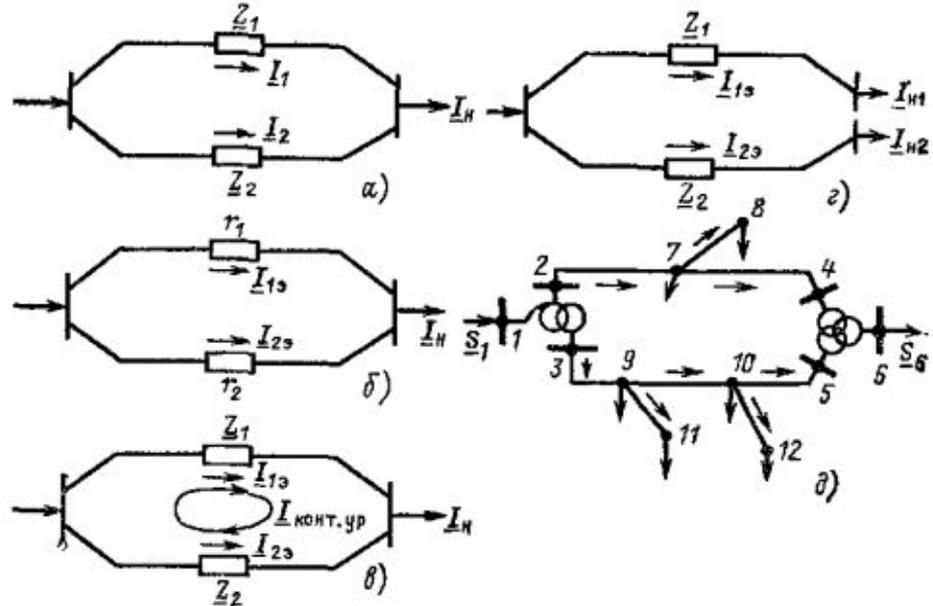


Рис. 12.6. Распределение токов в контуре:

а — естественное, б — экономическое; в — экономическое распределение и контурный уравнительный ток; г — размыкание контура; д — контур с автотрансформатором в трансформатором

$r_1$  и  $r_2$  - активные сопротивления ветвей 1 и 2.

В однородной сети естественное распределение токов или мощностей совпадает с экономическим, при выполнении условия (3), выражения (4) и (5) совпадают. В неоднородной сети естественное и экономическое распределение токов или мощностей не совпадают. Если предположить, что в контуре на рис. 12.б, а протекает контурный уравнительный ток  $I_{\text{конт.ур}}$ , вызванный неоднородностью сети (рис. 12.б,в), то естественные и экономические токи связаны следующим выражением:

$$I_1 = I_{1э} + I_{\text{конт.ур}}; I_2 = I_{2э} - I_{\text{конт.ур}}$$

При естественном распределении ток  $I_{\text{конт.ур}}$  создает дополнительные потери в сравнении с их наименьшим значением при экономическом распределении. Неоднородность  $e_i$  сети не является исчерпывающей характеристикой увеличения потерь мощности. Может быть сильная неоднородность параметров сети, но небольшое увеличение потерь мощности и наоборот. Это объясняется тем, что дополнительные потери мощности зависят как от параметров сети, так и от параметров режима, определяющих  $I_{\text{конт.ур}}$ , хотя в случае однородности  $I_{\text{конт.ур}}$  и дополнительные потери равны нулю. Снижение влияния неоднородности сводится или к снижению неоднородности параметров сети, или к компенсации контурных уравнительных токов. Первое достигается изменением сечений проводов, применением устройств продольной компенсации (УПК). Для контуров из неоднородных линий одного напряжения рекомендуется «настраивать» сеть с помощью УПК так, чтобы сделать сеть однородной и получить в ней в результате такой настройки экономическое распределение потоков мощности. Это кардинальное решение требует значительных капиталовложений. С той же целью в неоднородных замкнутых сетях возможно включение в расщелку линий реактора продольного включения. Однако в практике эксплуатации это применяется редко.

● Компенсация контурных уравнительных токов может быть выполнена двумя путями:

1) созданием компенсирующих уравнительных токов  $I_{\text{комп.ур}} = -I_{\text{конт.ур}}$ , что соответствует регулированию потоков мощности в контуре;

2) размыканием пути протекания уравнительных токов, т.е. размыканием контуров сети (рис. 12.6,з).

Для создания  $I_{\text{комп.ур}}$  (регулирования  $P$  и  $Q$  в контуре) надо вводить в неоднородные контуры добавочные ЭДС либо за счет линейных регуляторов, т. е. продольно-поперечного регулирования напряжения, либо за счет неуравновешенных коэффициентов трансформации. Управлять потоками  $P$  и  $Q$  в контурах или ветвях, изменяя комплексные коэффициенты трансформации линейных регуляторов (последовательных регулировочных трансформаторов), эффективно, если последние включены в контуры, образованные линиями разных напряжений. Здесь прежде всего имеются в виду те участки, на которых линии разных номинальных напряжений оказываются включенными на параллельную работу (через трансформаторы или автотрансформаторы) при значительных транзитах мощности (рис 12.6,д).

При оптимизации режима по  $U$ ,  $Q$  и  $n$  выбирают, в частности, и оптимальные значения комплексных коэффициентов трансформации. В инженерной практике решают задачи выбора наивыгоднейших  $n$  при продольно-поперечном регулировании напряжения. Это задача соответствует решению частной задачи оптимизации режима сети только по  $n$ , т. е. определению режима сети с наименьшими потерями при изменении только  $n$ . **Размыкание контуров сети** - наиболее распространенный способ уменьшения потерь за счет снижения влияния неоднородности сетей. Задача состоит в определении таких точек размыкания в сети, при которых достигается минимум целевой функции потерь мощности (или потерь электроэнергии). В питающих сетях для определения точек размыкания можно использовать программы оптимизации режима сети по  $U$ ,  $Q$  и  $n$ . Строго говоря, оптимизировать точки размыкания контуров надо с учетом дискретности переменных задачи оптимизации, однако в питающих сетях приближенно можно решать эту задачу без учета дискретности, например используя оптимизацию по  $n$ .

*В контур, где возможно размыкание, включается фиктивный регулировочный трансформатор с комплексным коэффициентом трансформации. Возможность оптимизации комплексных коэффициентов трансформации, заложенная, например, в программах оптимизации режима сети по  $U$ ,  $Q$  и  $n$ , позволяет моделировать влияние добавочных ЭДС, фиктивно включенных в контуры, в которых возможно размыкание, и определять оптимальные точки разрыва в неоднородной сети. При этом размыкание сети надо проводить в точках токораздела, полученных при расчете оптимального по  $n$  режима сети. Опыт применения программ оптимизации по  $U$ ,  $Q$ ,  $n$  показал их высокую эффективность для выбора точек размыкания. Оптимальное распределение реактивной мощности между ее источниками из рассмотренных в данном параграфе четырех частных задач оптимизации режима сети менее всего влияет на уменьшение потерь, поскольку в режимах больших нагрузок (когда можно ожидать наибольшего эффекта) возможности изменения распределения реактивных нагрузок оказываются весьма малыми.*

*В режимах малых нагрузок из-за малых потерь значительного эффекта не получается. Малое влияние данного мероприятия обусловлено несколькими причинами.*

*Во-первых, в режимах больших нагрузок резервы реактивной мощности оказываются сравнительно небольшими. Во-вторых, передача реактивной мощности по сети связана с заметным увеличением потерь напряжения и часто ограничивается режимом напряжений. Кроме того, передача реактивной мощности связана с увеличением потерь активной и реактивной мощностей. Поэтому задача распределения реактивной мощности по существу сводится к наиболее полному использованию ближайших к месту потребления компенсирующих устройств, т. е. к уменьшению загрузки линий, особенно большой длины.*

### ***Другие организационные мероприятия в питающих сетях.***

*Целесообразность использования генераторов электростанций в режиме синхронного компенсатора (СК) определяется для генераторов, которые на определенное время отключаются от сети. Как правило, это либо малоэкономичные агрегаты, выводимые из работы на период сезонного снижения нагрузки, либо генераторы, работающие на дефицитном топливе. При использовании их в качестве СК из сети потребляется небольшая активная мощность, но генерируется реактивная, что снижает потери мощности.*

*Сокращение продолжительности технического обслуживания и ремонта основного оборудования электростанций и сетей - эффективное мероприятие для снижения потерь. Особенно это касается ремонта транзитных линий передач и автотрансформаторов связи. Сокращение времени ремонта достигается улучшением организации работ, совмещением ремонтов последовательно включенных элементов сети, проведением их по оптимальному графику, выполнением пофазных ремонтов, ремонтов без снятия напряжения и т. д. Снижение расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций достигается за счет обеспечения рациональных режимов работы оборудования собственных нужд, например автоматизации обогрева подстанций, замены ламп накаливания на люминесцентные и т.д.*

***Технические мероприятия** в питающих сетях включают в себя установку компенсирующих устройств. Для энергосистем, имеющих дефицит реактивной мощности, компенсирующие устройства рассматриваются как средства регулирования напряжения. Однако даже при удовлетворительных уровнях напряжения установка компенсирующих устройств может оказаться целесообразной, так как они снижают потери мощности в сети. Наиболее эффективной является установка батарей конденсаторов (БК).*

Синхронные компенсаторы в энергосистемах устанавливаются главным образом по условиям работы линий электропередачи сверхвысоких напряжений, а также в узлах сети, где пропускная способность питающих линий не находится в соответствии с их загрузкой, особенно в послеаварийных режимах. Потери мощности в СК составляют до 2 % номинальной и даже выше. Поэтому установка СК как средство снижения потерь менее эффективна. Установка на эксплуатируемых подстанциях дополнительных и замена перегруженных силовых трансформаторов выполняется в основном с целью разгрузки находящихся в эксплуатации перегруженных трансформаторов. Снижение потерь электроэнергии при этом является, как правило, сопутствующим. Однако в отдельных случаях замена или установка дополнительного трансформатора дает и непосредственный эффект при снижении потерь. При этом происходит снижение нагрузочных потерь и увеличение потерь холостого хода. Замена недогруженных трансформаторов выполняется с целью снижения потерь электроэнергии в трансформаторах: при этом нагрузочные потери увеличиваются, а потери холостого хода уменьшаются. Ввод в работу трансформаторов с РПН, линейных регуляторов напряжения, установка устройств автоматического регулирования коэффициента трансформации проводится в основном с целью обеспечения требуемого качества напряжения у потребителей. Снижение потерь при этом является, как правило, сопутствующим эффектом.

***Уменьшение потерь мощности и  
электроэнергии в  
распределительных сетях и  
системах электроснабжения***

Компенсация реактивной мощности (увеличение  $\cos\varphi$  относится к важнейшим мероприятиям по уменьшению потерь в распределительных сетях. Как известно, потери активной мощности в линии равны:

$$\Delta P = 3P_{\text{л}} * r_{\text{л}} = \frac{S_{\text{л}}^2}{U^2} * r_{\text{л}} = \frac{Q_{\text{л}}^2 + P_{\text{л}}^2}{U^2} * r_{\text{л}}$$

После установки в конце линии у потребителя компенсирующих устройств (КУ) линия разгружается по реактивной мощности, увеличивается  $\cos\varphi$  и уменьшаются потери в линии:

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{P_{\text{л}}^2 + (Q_{\text{л}} - Q_{\text{к}})^2}{U^2} * r_{\text{л}}$$

где  $Q_{\text{к}}$  - мощность компенсирующих устройств.

Из векторной диаграммы на рис. 12.7,б видно, что с компенсацией реактивной мощности уменьшается  $\varphi$  и соответственно увеличивается  $\cos\varphi$ ; с увеличением  $\cos\varphi$  уменьшаются потери мощности и электроэнергии:

$$\Delta P = \frac{S_{\text{л}}^2}{U^2} * r_{\text{л}} = \frac{P_{\text{л}}^2 * r_{\text{л}}}{\cos^2\varphi * U^2}$$

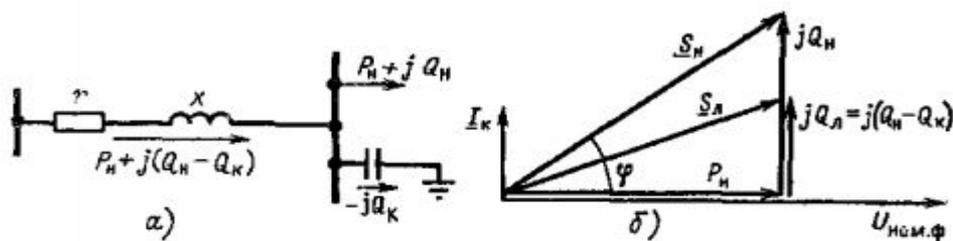


Рис. 12.7. Компенсация реактивной мощности:  
а - схема замещения линии; б - векторная диаграмма

До недавнего времени  $\cos\varphi$  был основным нормативным показателем, характеризующим реактивную мощность. Следует отметить, что выбор  $\cos\varphi$  в качестве нормативного не дает четкого представления о динамике изменения реального значения реактивной мощности. Например, при уменьшении коэффициента мощности с 0,95 до 0,94 реактивная мощность изменяется на 10%, а при уменьшении этого же коэффициента с 0,99 до 0,98 на 42%. При расчетах удобнее оперировать коэффициентом реактивной мощности  $K_{p.m.}$ .

$$K_{p.m.} = \frac{Q}{P} = \operatorname{tg}\varphi$$

Для понижения  $\operatorname{tg}\varphi$  рекомендуется в первую очередь применять организационные мероприятия, не требующие установки компенсирующих устройств. Таким мероприятием является повышение загрузки оборудования. Например, для асинхронного двигателя мощностью более 100 кВт при переходе от режима холостого хода к номинальной нагрузке  $\cos\varphi$  меняется от 0,009 до 0,9. На холостом ходу  $Q_x = 0,35 * S_{\text{НОМ}}$ , а при номинальной нагрузке  $Q_x = 0,43 * S_{\text{НОМ}}$ . Из рис. 12.8 видно, что с уменьшением загрузки двигателя  $\varphi$  увеличивается,  $\operatorname{tg}\varphi$  растет и потери увеличиваются. Поэтому нагрузка двигателя должна быть возможно ближе к номинальной.

Синхронные двигатели, установленные по технологическим требованиям, должны использоваться для компенсации реактивной мощности, а также для регулирования реактивной мощности или напряжения. Максимальная реактивная мощность, которую может генерировать синхронный двигатель (СД), определяется по выражению:

$$Q_{max} = \frac{\alpha_{max} * P_{ном} * tg\varphi_{ном}}{\eta_{ном}}$$

где  $P_{ном}$  - номинальная активная мощность;  $tg\varphi_{ном}$  и КПД  $\eta_{ном}$  соответствуют номинальным параметрам двигателя;  $\alpha_{max}$  - наибольшая допустимая перегрузка СД по реактивной мощности, зависящая от типа двигателя, относительного напряжения и коэффициента загрузки по активной мощности.

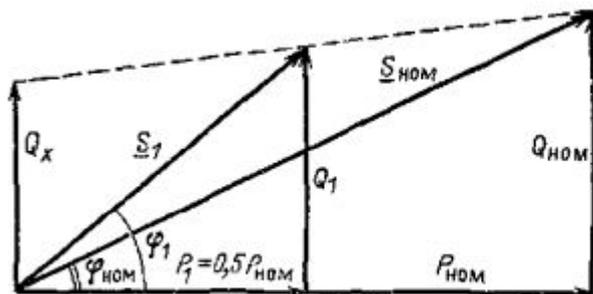


Рис 128. Векторные диаграммы асинхронного двигателя на холостом ходу и при нагрузке  $P_{ном}$  и  $0,5 P_{ном}$

При этом необходимо учитывать, что потери активной мощности СД в режиме перевозбуждения существенно увеличиваются по сравнению с потерями в режиме недовозбуждения или при работе с коэффициентом мощности, равным единице. По этой причине установка БК в ряде случаев может оказаться более экономичной (по приведенным затратам), чем использование СД для генерации реактивной мощности. Для генерации реактивной мощности в нормальных режимах невыгодно использовать тихоходные СД и СД малой мощности. Автоматическое регулирование мощности АРМ БК может положительно повлиять на снижение потерь мощности. Суммарный эффект от выполнения мероприятия состоит в снижении потерь мощности в отдельные часы суток одновременной оптимизации уровней напряжения в узлах сети. При этом не всегда регулирование БК действует на эти показатели в одном направлении. Бывают случаи, когда при улучшении режима напряжения потери электроэнергии в сети возрастают. Для определения более экономичной компенсации с помощью БК применяют методы оптимизации.

**Снижение норм расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции или на другой показатель производства (выполняемый объем работ, валовой выпуск продукции) в первую очередь характеризует эффективность использования электроэнергии.** При этом необходимо, чтобы нормы были оптимальными, установленными на основе технико-экономических расчетов.

*Здесь важно подчеркнуть, что под оптимальной нормой понимается объективно необходимый расход электроэнергии на производство единицы продукции или объема работы при данных условиях производства, обусловленный организацией и технологией производства, техническим уровнем применяемого технологического и энергетического оборудования, техническим состоянием и режимом работы производственного оборудования. Как уже отмечалось, нормы должны обосновываться технико-экономическим расчетом. Структура норм должна соответствовать технологии и организации производства и охватывать все статьи расхода электроэнергии на нормированный вид продукции или работ. Нормы должны учитывать также планируемые к осуществлению мероприятия по экономии электроэнергии. Нормы подлежат своевременной корректировке при изменении условий производства.*

***Регулирование суточного графика нагрузки и снижение пиков в часы максимума*** энергосистемы также позволяют снизить потери электроэнергии. Регулирование суточных графиков нагрузки может осуществляться несколькими способами. В первую очередь необходимо выравнивать график за счет перевода наиболее энергоемкого оборудования, работающего периодически, с часов максимума на другие часы суток. Таким оборудованием могут считаться, например, отдельные виды крупных станков, сварочные машины, компрессоры, насосы артезианских скважин, испытательные и зарядные станции, холодильные установки, мельницы, установки токов высокой частоты, отдельные виды электротермического оборудования, пилорамы и др. С этой же целью целесообразно в часы максимумов нагрузок энергосистемы провести на предприятиях текущие и профилактические ремонты технологического и энергетического оборудования, техническим состоянием и режимом работы производственного оборудования,

упорядочить работу вспомогательных цехов для снижения их электрических нагрузок в указанные часы, установить твердый график работы вентиляционных установок и т.д. При выполнении мероприятий по отключению в часы максимумов соответствующего оборудования следует учитывать влияние выключения данного оборудования на другие производственные процессы и на работу предприятия в целом. Снижение нагрузки может достигаться путем рассредоточения по времени пусков крупных электроприемников, создания запасов полуфабриката за счет интенсификации их производства вне часов максимума. К мероприятиям по выравниванию суточных графиков относятся также смещение времени начала и окончания различных смен с целью совмещения с часами максимума нагрузки межсменных и обеденных перерывов на предприятиях; введением третьей (ночной) смены для энергоемкого оборудования; введение разных выходных дней для предприятий. Мероприятия по изменению режима работы связаны с изменением условий труда работников предприятий, поэтому их осуществление может быть допущено только в крайних случаях. Одним из путей снижения пиков нагрузки является использование на промышленных предприятиях потребителей-регуляторов, т.е. такого электротехнологического оборудования, которое может работать в режиме регулирования в соответствии с потребностями энергосистемы. При этом получаемая в энергосистеме экономия средств может превышать дополнительные затраты потребителя-регулятора.

Оптимизация режимов сети по  $U$ ,  $Q$ ,  $n$  используется в распределительных сетях с учетом специфики их работы. При этом в распределительных сетях, в которых нет источников активной мощности, не требуется согласование с оптимизационным расчетом по активной мощности. Как известно, в центрах питания (ЦП) сетей 6-10 и 35 кВ широко используется регулирование напряжения.

Основной задачей регулирования напряжения в ЦП является обеспечение допустимых отклонений напряжения у электроприемников, присоединенных к сетям 6-10 кВ и ниже. При этом, как правило, удается одновременно снизить и потери электроэнергии в сетях. Возможности такого снижения увеличиваются при наличии в ЦП всех сетей 6-10 кВ трансформаторов с РПН. В распределительных сетях повышение уровня напряжения приводит не только к уменьшению потерь мощности, но и к росту потребляемой мощности нагрузок в соответствии с их статическими характеристиками по напряжению. Поэтому для определения целесообразности повышения уровня напряжения в распределительных сетях надо анализировать его влияние на изменения потерь мощности в сети и потребление нагрузок. Кроме того, надо учитывать и ущерб потребителей от низкого качества напряжения.

**Выравнивание нагрузок фаз в электрических сетях 380 В.** К трехфазным сетям 380 В подключается большое количество однофазных электроприемников, присоединяемых к одной фазе и нулевому проводу. Их подключение производится по возможности равномерно между фазами, однако токи фаз  $I_a, I_b, I_c$  оказываются в той или иной степени неодинаковыми. Неравномерная нагрузка фаз не только увеличивает потери электроэнергии в фазах в силу неравенства:

$$I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 \geq 3 * I_{cp}^2$$

но и создает дополнительные потери за счет прохождения тока по нулевому проводу. Различают вероятностную несимметрию, имеющую перемежающийся характер с большей загрузкой то одной, то другой фазы, и систематическую несимметрию, при которой неодинаковы средние значения нагрузок. Первый вид несимметрии может быть устранен лишь специальными устройствами с тиристорным управлением, переключающими часть нагрузок с перегруженной на недогруженную фазу.

Такие устройства разработаны, однако в настоящее время еще не выпускаются серийно. Систематическая несимметрия может быть снижена путем периодического (1-2 раза, в год) перераспределения нагрузок между фазами. В распределительных сетях также остаются актуальными вопросы снижения расхода электроэнергии на собственные нужды и сокращения сроков ремонтов электрооборудования.

**Технические мероприятия по снижению потерь** в распределительных сетях - это рассмотренные выше замена перегруженных и недогруженных трансформаторов, ввод трансформаторов с РПН, автоматическое регулирование коэффициентов, ввод БК и автоматическое регулирование их мощности. Замена проводов на перегруженных линиях находит применение в основном в распределительных электрических сетях 380 В и 6-10 кВ.

Мероприятие осуществляется преимущественно с целью повышения пропускной способности перегруженных линий, замены физически изношенных проводов линий при их капитальном ремонте, замены стальных проводов на алюминиевые и сталеалюминиевые. Снижение потерь энергии при этом в большинстве случаев является попутным эффектом.

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!!!**