

УДК 621.315

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ
ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТИ***Галстян Р. А.*

Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

galstyan.razmik2015@yandex.ru

Рассматриваются организационные мероприятия по снижению потерь электроэнергии в сети, а именно размыкание сети 110 кВ и оптимизация рабочих напряжений в центрах питания. Проанализирован эффект снижения активных потерь каждого мероприятия.

Ключевые слова: потери, снижение потерь, напряжение, оптимизация, мероприятия, размыкание, регулировка, эффективность мероприятий.

Введение. Потери электроэнергии в электрических сетях являются важнейшим показателем экономичности их работы. Для снижения потерь электроэнергии в сети необходимо разрабатывать и внедрять разного рода мероприятия. Мероприятия подразделяются на две группы: организационные и технические. Организационные не требуют дополнительных капиталовложений, а технические мероприятия подразумевают в себе внедрение нового оборудования для снижения потерь, что не всегда с экономической точки зрения будет эффективно.

1 Организационные мероприятия по снижению потерь электроэнергии в сети**1.1 Общие сведения о потерях**

Потери электроэнергии в электрических сетях являются неотъемлемой частью их функционирования, так как это понятие включает в себя расход этой энергии на прохождение электрического тока по элементам силовой цепи и на её обслуживание.

Для учёта потерь, приходящихся на долю потребителей, существуют: автоматизированная система коммерческого учёта электроэнергии; счётчики, расположенные как у потребителей, так и на подстанциях.

Потери в элементах электрической цепи вычисляются по формулам, исходящим из схем замещения элементов, таких как: линии электропередач / кабельные линии, трансформаторы, компенсирующие устройства, реакторы.

Вопрос расчёта потерь электроэнергии интересен, в первую очередь, с точки зрения уменьшения расхода энергоносителя на электростанциях и, следовательно, с увеличением чистой прибыли. Но немало важную роль играет и тот фактор, что при использовании переменного тока мощность имеет активную и реактивную составляющую. Если активная составляющая проявляется в нагреве оборудования, то реактивная составляющая создаёт проблемы падения напряжения на концах линии.

Данные недостатки можно ликвидировать двумя методами: изменением длины линии, либо повышением ёмкостной составляющей тока нагрузки. В первом случае, можно изменять частоту,

UDC 621.315

**ORGANIZATIONAL MEASURES TO
REDUCE ELECTRICITY LOSSES IN THE
NETWORK***Galstyan R. A.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

galstyan.razmik2015@yandex.ru

The paper considers organizational measures to reduce electricity losses in the network, namely breaking of the 110 kV network and the optimization of operating voltages in main substations. It analyzes the effect of reducing active losses of each measure.

Keywords: losses, loss reduction, voltage optimization, measures, breaking, adjustment, effectiveness.

либо создавать более близкие центры питания нагрузок. Во втором случае, необходимо компенсировать реактивную составляющую путём установки компенсирующих устройств, таких как синхронные компенсаторы или статические батареи конденсаторов.

1.2 Снижение потерь электроэнергии

Для снижения потерь электроэнергии разработано много мероприятий. Мероприятия делятся на три группы: организационные, технические и мероприятия по совершенствованию систем расчетного и технического учета электроэнергии. Структурная схема мероприятий приведена на рисунке 1.1. Из всех мероприятий более подробно рассмотрим организационные.



Рис. 1.1. Структура мероприятий по снижению потерь электроэнергии

Организационные мероприятия практически не требуют для их внедрения дополнительных капиталовложений. К организационным относят мероприятия по совершенствованию эксплуатационного обслуживания электрических сетей и оптимизации рабочих схем сетей и режимов их работы.

В работе подробно будут рассмотрены два мероприятия: оптимизация мест размыкания контуров электрических сетей с различными номинальными напряжениями, и оптимизация рабочих напряжений в центрах питания. Выбор этих мероприятий обусловлено номинальным напряжением сети и по требованиям надежности электроснабжения.

1.2.1 Оптимизация мест размыкания контуров электрических сетей с различными номинальными напряжениями

Известно, что минимуму потерь активной мощности и энергии соответствует распределение мощностей в сети с активными сопротивлениями. Такое распределение мощностей, соответствующее экономическому, устанавливается лишь в однородных сетях, в которых отношение R_0/X_0 на всех участках сети одинаково. Разные отношения R_0/X_0 на отдельных участках неоднородной сети обуславливают появления уравнительных токов, увеличивающие потери мощности и

энергии в ней. Чем больше неоднородных участков, тем сильнее увеличиваются потери мощности по сравнению с наименьшими возможными.

Наибольшая неоднородность наблюдается в замкнутых контурах, образованных сетями разных номинальных напряжений, связанных между собой через обмотки трансформаторов. Индуктивное сопротивление обмоток трансформаторов больше активного в 10 - 30 раз, в то время как в воздушных линиях электропередачи это отношение равно 2 - 3.

Можно получить экономическое распределение мощностей в неоднородной сети, если на естественное распределение наложить уравнительную мощность, создаваемую, например, с помощью последовательного регулировочного трансформатора (ПРТ) и направленную против естественной уравнительной мощности.

При введении в контур ЭДС уравнительная мощность, создаваемая этой ЭДС будет равна:

$$S_y = P_y - jQ_y = \sqrt{3} \cdot U \cdot \dot{I}_y = \frac{U \cdot \dot{E}}{Z_k} = \frac{U \cdot (E' + jE'')}{R_k + jX_k} \quad (1.1)$$

где E' и E'' - соответственно продольная и поперечная составляющие уравнительной ЭДС, создаваемой с помощью ПРТ.

Если в контур включены трансформаторы связи сетей двух различных номинальных напряжений и их коэффициенты трансформации не уравновешены, то они создают в контуре продольную ЭДС.

$$E'_T = U \cdot \left(1 - \prod_{i=1}^n k_i \right) \quad (1.2)$$

где n – число трансформации в контуре.

Соответствующим подбором коэффициентов этих трансформаторов можно улучшить распределение мощностей в замкнутых контурах и повысить уровень напряжения. За счет этого снизим потери мощности и энергии и повысим КПД сети.

При отсутствии ПРТ снизить потери возможно с помощью принудительного изменения потокораспределения путем размыкания питающей сети. В данном случае необходимо определить, в каком месте следует размыкать сеть, чтобы потери активной мощности были минимальны. В питающих сетях недостатком такого мероприятия является понижение надежности, поэтому предварительно надо решить вопрос о допустимости такого размыкания с точки зрения надежности электроснабжения и режимов напряжения. Выполнить операцию размыкания можно при помощи ЭВМ в программе RastrWin.

Исходная схема, которую нужно разомкнуть изображена на рисунке 1.2.

Размыкания сети 110 кВ будем выполнять вариантным способом. Алгоритм проведения данного мероприятия в программе RastrWin перечислим ниже.

1. Необходимо создать исходную модель сети, оптимизировать напряжение в узлах и рассчитать режим её работы.
2. Необходимо найти активные потери мощности в первоначальной схеме сети.
3. Нужно поочередно отключать ВЛ-1, ВЛ-2, ВЛ-3 и ВЛ-4 и выявить при каком отключении минимальны потери.

Результаты проведенного мероприятия представлены в таблице 1.1.

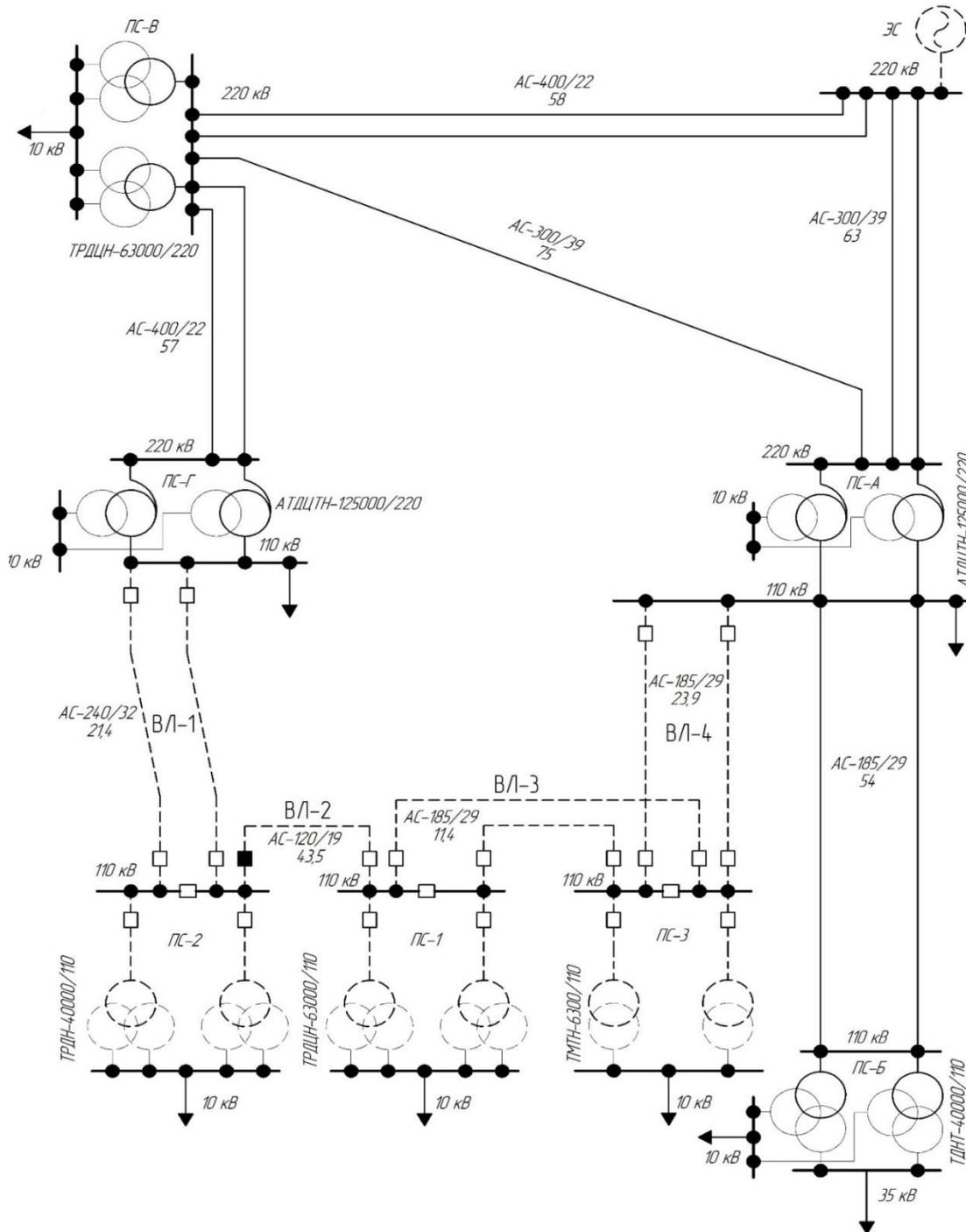


Рис. 1.2. Исходная схема сети

Таблица 1.1

Результаты размыкания сети 110 кВ

	Суммарные нагрузочные потери в сети		
	U _{ном} = 110 кВ	U _{ном} = 220 кВ	Всего
Исходный вариант	2	4,12	6,12
ВЛ-1	8,94	4,88	13,81
ВЛ-2	1,93	4,06	5,99
ВЛ-3	8,46	6,06	14,52
ВЛ-4	10,9	6,66	17,57

Из таблицы 1.1 наглядно видно, что размыкание ВЛ-2 со стороны подстанции номер два дает наибольший эффект, а остальные линии не стоит отключать, так как они запитывают нагруженные подстанции, то есть отключение одной из этих линий приведет к недопустимой перегрузке оставшихся линий. Чтобы устранить перегруз на линиях нужно заменить провода на большие сечения, что с экономической точки зрения неэффективно

1.2.2 Оптимизация рабочих напряжений в центрах питания

Уровень рабочего напряжения влияет на потери и пропускную способность сети. При повышении напряжения на $\Delta U\%$ потери мощности в сопротивлениях сети снижаются, а в проводимостях увеличиваются пропорционально квадрату напряжения.

Количественное изменение нагрузочных потерь мощности при отклонениях напряжения от номинального можно оценить выражением:

$$\Delta P_k \% = 1 - \frac{1}{\left(1 \pm \frac{\Delta U \%}{100}\right)^2} \quad (1.3)$$

Потери холостого хода вычисляется по формуле:

$$\Delta P_x \% = \left(1 \pm \frac{\Delta U \%}{100}\right)^2 - 1 \quad (1.4)$$

ПУЭ допускают превышение рабочего напряжения сети сверх номинального на 15% - в сетях 35-220 кВ, 10% в сетях 330 кВ и 5% - в сетях 500 кВ и выше. Отсюда следует, что в сетях 220 кВ включительно существуют технические возможности использования эффекта снижения нагрузочных потерь мощности и энергии за счет повышения рабочего уровня напряжения. Рассмотрим, как при этом изменяются потери холостого хода.

Потери холостого хода в трансформаторах зависят от подводимого напряжения к их ответвлениям, а не от уровня напряжения в сети. Переключая ответвления трансформаторов в соответствии с подводимым к ним рабочим напряжением, потери холостого хода в трансформаторах можно удерживать на постоянном уровне.

Для поддержания рабочего напряжения в линиях на высоком уровне 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.

Под арсеналом регулирующих устройств следует понимать генераторы электростанций, РПН и ПВВ на трансформаторах, специальные вольтодобавочные и регулировочные трансформаторы, трансформаторы с продольно-поперечным регулированием, синхронные компенсаторы, батареи статических конденсаторов, шунтирующие реакторы.

В сложносвязанных неоднородных электрических сетях можно достигнуть определенного поднятия уровня рабочего напряжения и снижения нагрузочных потерь энергии за счет подавления уравнивающих токов, вызванных неоднородностью сети. Введением противо-ЭДС в контуры осуществляется соответствующим подбором неуравновешенных коэффициентов трансформации на контурных трансформаторах, связывающих электрические сети разных номинальных напряжений, переключением контурных трансформаторов на разные группы соединения обмоток, специальными трансформаторами с продольно-поперечным регулированием.

Регулировать напряжение будем при помощи РПН, установленных на автотрансформаторах подстанции А и Г, схема изображена на рисунке 1.2.

Коэффициент трансформации рассчитывается по формуле:

$$K_{В-С} = \frac{U_{С.НОМ}}{U_{В.НОМ}} ; K_{В-Н} = \frac{U_{Н.НОМ}}{U_{В.НОМ}} . \tag{1.5}$$

Коэффициент трансформации n ступени вычисляется по формуле:

$$K_{Т.В-С} = K_{Н.В-С} (1 \pm n \Delta U_{СТ.РПН*}) \tag{1.6}$$

Воспользуемся программой RastrWin для определения потери мощности при определенном коэффициенте трансформации. Результаты поиска минимума потерь приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2– Потери мощности при определенном коэффициенте трансформации

			Коэффициенты трансформации автотрансформаторов ПС-А												
			6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
			0,589	0,579	0,568	0,558	0,547	0,537	0,526	0,516	0,505	0,495	0,484	0,473	0,463
Коэффициенты трансформации автотрансформаторов ПС-Г	6	0,589	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
	5	0,579	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
	4	0,568	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
	3	0,558	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
	2	0,547	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	6,11	6,33	6,65	7,02	7,5	Н/Д	Н/Д
	1	0,537	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	5,95	6,02	6,21	6,47	6,77	7,19	Н/Д	Н/Д
	0	0,526	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	6,02	6,04	6,14	6,33	6,57	6,92	Н/Д	Н/Д
	-1	0,516	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	6,16	6,13	6,99	6,27	6,45	Н/Д	Н/Д	Н/Д
	-2	0,505	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	6,54	6,38	6,26	6,23	6,29	6,37	Н/Д	Н/Д	Н/Д
	-3	0,495	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	6,87	6,64	6,46	6,39	6,36	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
	-4	0,484	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	7,33	7,04	6,79	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
	-5	0,473	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
	-6	0,463	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д

где Н/Д – недопустимое значения напряжения.

Из таблицы 1.2 можем пронаблюдать, как меняется суммарное значение потери мощности при определенном коэффициенте трансформации. Благоприятной ступенью трансформации является первая, так как обеспечивает минимум потерь и надежность сети.

1.2.3 Расчет эффективности проведенных мероприятий

Оценку эффективности мероприятия можно дать тогда, когда будет подсчитана финансовая выгода за определенный период времени, к примеру, за год. Для рассмотренных мероприятий стоимость капиталовложений малы, поэтому оценку эффективности может быть выявлено величиной потерь электроэнергии. Результаты расчета потерь электроэнергии исходного варианта и вариантов с проведенными мероприятиями представлены в таблице 1.3

Таблица 1.3

Потери электроэнергии в сети по вариантам

Составляющие потерь электроэнергии	Варианты		
	Исходный	МСП-1	МСП-2
Потери холостого хода трансформаторов	6377,28	6377,28	6377,28
Потери на корону	5960,31	5960,31	5960,31
Нагрузочные потери в линиях	17657,76	13752,15	13642,13
Нагрузочные потери в трансформаторах	2912,22	2669,53	2669,53
Всего	32907,57	28759,27	28649,25
Снижение потерь после мероприятия	-	4148,3	4258,32

Заключение. Проанализировав таблицу 1.3 можно сделать вывод, что мероприятие по оптимизации рабочих напряжений в центрах питания оказалось эффективнее, чем размыкание сети, и в дальнейшем будут рекомендованы для внедрения.

Данное мероприятие дало не только минимум потерь в сети, но и увеличило пропускную способность линии и надежность сети не нарушилась. Появилась возможность передавать большой поток мощности, что выгодно с экономической точки зрения.

Библиографический список

1. Герасименко, А.А., Передача и распределение электрической энергии./А.А. Герасименко, В.Т. Федину– изд. 3-е, перераб.– М.: КНОРУС, 2012. – 648 с.
2. Электрические системы и сети/ Н. В. Буслова, В. Н. Винославский, Т. И. Денисенко, В. С. Перхач; под ред. Г. И. Денисенко. -Киев: Вища школа, 1986.
3. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. N 326 "Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям" (с изменениями и дополнениями) [URL:http://base.garant.ru/195516/](http://base.garant.ru/195516/)
4. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей/ Д.Л. Файбисович. – М.: Издательство НИЦ ЭНАС, 2006. 350 с.
5. ПУЭ: офиц. текст. – Изд. 7-е – М. : Главгосэнергонадзор России, 2007. – 980с.
6. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанции и подстанции: справоч. материалы для курсового и дипломного проектирования/ Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – СПб.: БХВ–Петербург, 2013.– 608 с.
7. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учеб. М./ Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова Издательский центр «Академия», 2005. 448 с.