

# ПРОБЛЕМА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В МОСКОВСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

АВТОРЫ:

Ю.А. ГОРЮШИН,  
К.Т.Н.  
ОАО «ФСК ЕЭС»

Ю.А. ТИХОНОВ,  
К.Т.Н.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Ю.Г. ШАКАРЯН,  
Д.Т.Н.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Н.Н. УТЦ  
ОАО «ИНСТИТУТ  
«ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

**Р**азвитие энергосистем современных мегаполисов характеризуется устойчивым ростом – увеличивает электропотребление, и, соответственно, растет необходимая генерирующая мощность. Кроме того, на сравнительно небольшой территории формируется и развивается электрическая

сеть повышенной плотности. Все это приводит к неуклонному, достаточно быстрому росту уровня токов короткого замыкания (КЗ) и требует систематической работы по координации токов КЗ, т.е. необходимо постоянно следить за соответствием уровня токов КЗ номинальным токам отключения выключателей.



Доля электропотребления Московского региона является доминирующей в ОЭС Центра, а также составляет около 10% от суммарного электропотребления ЕЭС России

Расчетное значение тока КЗ для сети 500–220–110 кВ в Московском регионе принято на уровне 63,5 кА, что соответствует максимальному номинальному току отключения для серийных выключателей рассматриваемых классов напряжения (здесь и ниже, как принято, указывается действующее значение периодической составляющей тока КЗ, то же – для номинального тока отключения выключателя). Достигнутый уровень токов КЗ давно превзошел 63,5 кА. В современных условиях в Москве широко применяются (и планируются на перспективу) практически все существующие меры по ограничению тока КЗ. Кроме того, проведена массовая замена устаревших выключателей на элегазовые с одно-временным переходом на повышенные (в основном на предельные) значения параметров. В частности, достаточно системно применяются следующие меры токоограничения:

- использование оборудования с увеличенным сопротивлением, прежде всего трансформаторов (автотрансформаторов) с расщепленными обмотками низшего напряжения, на электростанциях и на питающих ПС (повсеместно используемое мероприятие);
- заземление нейтралей трансформаторов и автотрансформаторов через реакторы для ограничения токов несимметричных, КЗ. Эффект достигается за счет увеличения сопротивления нулевой последовательности. В принципе возможна установка в нейтраль активных сопротивлений, преимущество которых по сравнению с использованием реакторов

является ограничение переходных восстанавливающихся напряжений. Кроме того, при КЗ эти сопротивления обеспечивают дополнительное потребление активной мощности, которое, при соответствующем выборе величины сопротивления, может частично компенсировать сброс мощности генераторов при КЗ. Последнее способствует увеличению их динамической устойчивости. Важным достоинством этого мероприятия является слабое влияние на нормальные режимы, так как дополнительное сопротивление в цепи тока появляется автоматически при возникновении несимметричного КЗ; опережающее (автоматическое) разделение сети (ОДС, АДС), которое обеспечивает возможность отключения КЗ с током, не превышающим отключающую способность выключателя: сначала отключаются выключатели, через которые идет наибольшая подпитка КЗ; затем, после снижения тока в месте КЗ до необходимого уровня, отключается выключатель, ликвидирующий КЗ. Устройства, реализующие ОДС, используются на ряде ПС Московской энергосистемы и на нескольких электростанциях – на присоединениях к шинам 110 кВ и, реже, 220 кВ. Число таких ПС остается постоянным. Область применения ОДС существенно ограничена из-за увеличения длительности КЗ (вдвое),

ИНФОРМАЦИЯ

## МОСКОВСКАЯ ЭНЕРГОСИСТЕМА

Московская энергосистема осуществляет электроснабжение потребителей на территории Москвы и Московской области, занимающих площадь порядка 46,890 тыс. км<sup>2</sup>. Численность населения, проживающего в Москве и на территории области, составляет 18,677 млн человек.

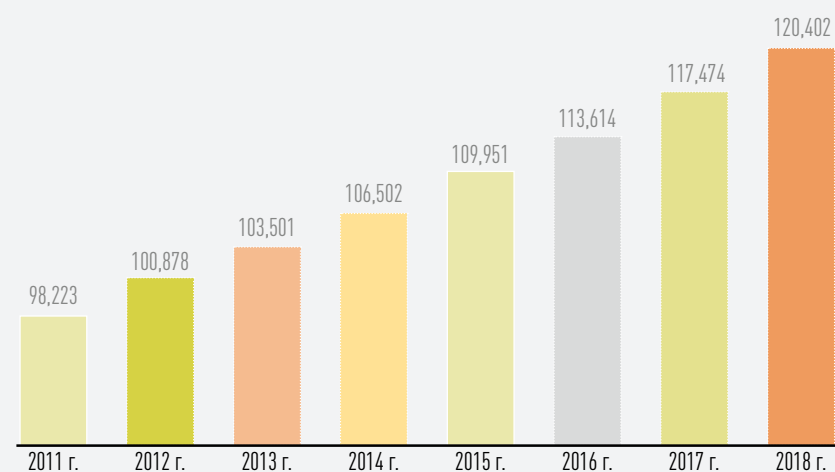
Электроэнергетический комплекс Москвы и Московской области образуют:

- 62 электростанции установленной электрической мощностью 18 088,04 МВт. Основными объектами генерации являются Каширская ГРЭС, Загорская ГАЭС, ТЭЦ-21, ТЭЦ-22, ТЭЦ-23, ТЭЦ-25, ТЭЦ-26, ТЭЦ-27;
- 562 электрические подстанции 110-750 кВ;
- 1004 линии электропередачи 110-750 кВ.

Выработка электроэнергии за 2012 год составила 80 603,779 млн кВт•ч, потребление электроэнергии – 100 924,008 млн кВт•ч.

Источник: сайт ОАО «СО ЕЭС»

## ПРОГНОЗ СПРОСА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ ПО ЭНЕРГОСИСТЕМЕ Г. МОСКВЫ И МОСКОВСКОЙ ОБЛ., МЛРД КВТ·Ч



Источник: Схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2012-2018 гг. (утв. приказом Министерства энергетики РФ от 13 августа 2012 г. №387)

Рис. 1

сохранения воздействия полного сквозного тока КЗ на все оборудование присоединений, в том числе на выключатели, и утяжеления послеаварийной схемы; секционирование сети выключателями (стационарное), которое представляет собой отключение секционных (шиносоединительных) выключателей или выполнение иных разрывов в электрической сети с целью снижения токов КЗ. Секционирование сети является технически простой и эффективной мерой, которая обеспечивает ограничение токов КЗ по всем существенным для оборудования

параметрам. В пределах Москвы в сетях 110–220 кВ в настоящий момент насчитывается более 30 точек секционирования в сети 220 кВ и около 100 в сети 110 кВ. Применение секционирования ограничивается, прежде всего, из-за понижения надежности сети и потери гибкости сети, что затрудняет проведение ремонтных работ и вообще выполнение любых операций в процессе эксплуатации сети. Рациональные уровни секционирования сети устанавливаются на основе сбалансированного компромисса между требованиями ограничения токов КЗ

и требованиями обеспечения надежности работы энергосистемы в целом, которые противоречат друг другу; применение токоограничивающих реакторов (ТОР). Такие реакторы в настоящий момент устанавливаются в основном в сети низкого напряжения (НН). Два токоограничивающих реактора установлены в сети 110 кВ Московской энергосистемы. Для сети 220 кВ ТОР пока не выпускаются, но заводы берутся за изготовление при наличии заказа. Недостатками ТОР являются влияние на нормальные режимы энергосистемы и проблема размещения на подстанциях, особенно уже существующих, из-за отсутствия свободной территории.

Следует отметить, что в Москве имеется определенный опыт применения асинхронизированных турбогенераторов (АСТГ) вместо обычных – синхронных. АСТГ устанавливаются для обеспечения режимов потребления реактивной мощности. Решение об установке таких генераторов на ряде московских ТЭЦ было принято НТС «Мосэнерго» в 2000 году. Эти генераторы имеют повышенное (примерно на треть) сверхпереходное сопротивление и допускают использование блочных трансформаторов с увеличенным  $u_k$ , т. к. имеют увеличенную динамическую устойчивость. Благодаря таким значениям параметров АСТГ обладают пониженными токами подпитки КЗ, что также способствует ограничению общих токов КЗ (см. статью Шакарьян Ю. Г., Сокура П. В. и Аршунина С. А. в № 3 журнала «Энергия единой сети»).

Рис. 2.  
ПС «Очаково»

Во многих странах разрабатывают и для сети НН, и для сети среднего напряжения (СН) и уже достаточно широко применяют автоматические токоограничивающие устройства (ТОУ), которые оказывают очень слабое воздействие на нормальные режимы при возникновении КЗ в зоне их действия. Эти устройства ограничивают ток КЗ, автоматически увеличивая сопротивление участков сети на время существования КЗ.

Что касается высокого напряжения (ВН), то в настоящий момент существует только один промышленный образец устройства резонансного типа напряжения 110 кВ (Siemens), который введен в эксплуатацию (США). Четыре типа устройств на напряжение 110–220 кВ разрабатываются в России, и ввод в опытную эксплуатацию одного из этих

устройств предполагается в течение ближайших двух лет.

Эти устройства эффективны без дополнительных мер за счет включения в сеть больших сопротивлений. Причем их применение, в комбинации со стационарным отключением части выключателей, неизбежно на первых этапах и вообще целесообразно по соображениям сокращения затрат, уменьшения площади, требуемой для размещения аппаратов, и, возможно, для уменьшения количества срабатывающих устройств при каждом КЗ (одновременное срабатывание ТОУ на нескольких ПС при КЗ в большинстве точек плотной сети может стать одной из проблем при широком применении ТОУ).

В целом перечисленные мероприятия обеспечивают решение про-

блемы в современных условиях, хотя часть выключателей работает в зоне недопустимых токов КЗ. Основной эффект достигается секционированием сети.

По прогнозу на 2015–2020 гг. уровень токов КЗ в Московской энергосистеме значительно увеличится. Для решения проблемы предлагаются радикальные схемные решения, обеспечивающие размыкание или ослабление транзитов между всеми мощными источниками токов подпитки (крупные электростанции и питающие подстанции более высокого уровня напряжения (500 кВ и 220 кВ) по отношению к напряжению рассматриваемой сети (220 и 110 кВ)).

Источники токов подпитки – генератор с трансформатором на электростанции, питающий автотрансфор-



Рис. 3.  
АСТГ ТЭЦ-21

мотор (АТ) на подстанции – имеют достаточно большие внутренние сопротивления, по сравнению со связывающими их транзитами длиной 10–20 км (что соответствует сопротивлению 4–8 Ом), являются практически источниками тока и «снабжают» друг друга значительными токами подпитки при КЗ.

Для электрической сети ВН Москвы такими источниками являются ПС 500 кВ «Бескудниково», «Очаково» (с ТЭЦ-25), «Чагино» (с ТЭЦ-22), в меньшей степени ТЭЦ-23, ТЭЦ-21, ТЭЦ-26.

В работах ОАО «Институт «Энергосетьпроект» для электрической сети 110 кВ Москвы было предложено полное разделение транзитов между основными источниками токов подпитки, что означает переход к ради-

альным схемам электроснабжения (поперечное деление сети). Для сети 220 кВ, которая в основном является питающей, радиальное построение нецелесообразно из-за возможного снижения надежности электроснабжения потребителей. Поэтому здесь предлагается размыкание только части транзитов («Бескудниково»–«Очаково» (два из трех), «Бескудниково»–ТЭЦ-21, «Бескудниково»–ТЭЦ-23, «Очаково»–«Чагино») за счет отключения восьми ЛЭП: «Мневники»–ТЭЦ-16 – первая цепь, «Ваганьково»–«Гражданская» – вторая цепь, «Белорусская»–«Магистральная» – первая цепь, «Бутырки»–«Белорусская» – вторая цепь, «Матвеевская»–«Пресня» – первая цепь, ТЭЦ-12–«Золотаревская» – вторая цепь, «Мещанская»–«Бутырки» – первая цепь, «Красносельская»–

«Мещанская» – первая цепь. Согласно проделанным расчетам это должно привести к заметному снижению максимальных значений тока КЗ.

В более отдаленной перспективе для Московской энергосистемы предлагается полное разделение сети 220 кВ на две (южная и северная) или четыре (юго-западная, юго-восточная, северо-западная, северо-восточная) секции. Упомянутые две-четыре секции представляют собой практически сбалансированные крупные энергосистемы, каждая мощностью несколько ГВт. Электроснабжение потребителей в каждой секции будет обеспечиваться в основном «собственными» электростанциями и «собственными» подстанциями 500 кВ.

Частичное разделение сети можно реализовать с помощью вставки постоянного тока. Достоинство такого варианта – повышенная управляемость сети, недостаток – высокая стоимость. В ОАО «Институт «Энергосетьпроект» также проработан вариант установки вставок постоянного тока в центрах питания, в том числе для сценария разделения сети 110 и 220 кВ Московской энергосистемы на четыре части.

Следует отметить, что в развитой плотной распределительной сети всегда существует проблема возникновения перегрузок ЛЭП даже в нормальных режимах из-за практически полного отсутствия возможности управлять потокораспределением. Поэтому в Московской энергосистеме секционирование сети выключателями часто применяется также при нормальных режимах для обеспечения управления потоками мощности. Таким образом, при выборе мест секционирования учитываются одновременно обе проблемы.

Подчеркнем, что все варианты ограничения токов КЗ, при использовании различных средств и способов, имеют общие черты, которые определяются характеристиками энергосистемы. В конечном счете, для достижения нужного эффекта необходимо ослабить до некоторого уровня электрические связи между основными источниками электроэнергии – питающими данную сеть электростанциями и крупными подстанциями. Это ослабление может осуществляться за счет отключения выключателей и/или введения дополнительных индуктивных сопротивлений – стационарно (ТОР) или автоматически, на время существования КЗ (ТОУ).

Ограничение токов КЗ с помощью стационарных мер, направленных, в конечном счете, на снижение кон-

центрации мощности за счет ослабления сети, приводит к некоторому снижению надежности режимов. Поэтому при планировании таких мер для оценки их влияния на надежность режимов работы энергосистемы проводится проверочный расчет – с учетом нормативных возмущений при аварийном отключении ЛЭП, генераторов электростанций, в т. ч. в условиях ремонтных схем.

В упомянутых выше работах ОАО «Институт «Энергосетьпроект» соответствующие расчеты были выполнены и допустимость примененных мер по ограничению токов КЗ по условиям надежности режимов энергосистемы была подтверждена.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шульгинов Н. Г., Кучеров Ю. Н., Чемоданов В. И., Утц Н. Н., Ярош Д. Н. Развитие энергосистемы Московского региона с учетом расширения территории мегаполиса // Энергетическая политика, 2012, № 1. – с 10–15.
2. Шульгинов Н. Г., Кучеров Ю. Н., Чемоданов В. И., Утц Н. Н., Ярош Д. Н. Основные направления развития энергосистемы Московского региона // Электро, 2012, № 1. – с. 20–25.
3. Утц Н. Н., Агеева Е. В., Гладышева Т. Л., Дунаева В. В., Основская И. И. Развитие электроэнергетики Московского региона на период до 2020 г. // Электрические станции, 2012, № 5. – с. 20–31.
4. Разработка стратегических направлений развития Московской энергосистемы с учетом роста уровня токов короткого замыкания / Научно-технический отчет. ОАО «Институт «Энергосетьпроект», 2011 г. (по заказу ОАО «СО ЕЭС»).
5. Разработка технических предложений по координации токов короткого замыкания в электрических сетях Московской энергосистемы / Научно-технический отчет.

## ИНФОРМАЦИЯ

### ПРОБЛЕМЫ МОСКОВСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Одной из основных проблем Московской энергосистемы являются большие величины токов короткого замыкания (КЗ), а также тенденция к постоянному росту уровня токов КЗ и недостаточная отключающая способность выключателей 500, 220 и 110 кВ.

Это влечет за собой необходимость применения различных мероприятий по ограничению токов КЗ, в большинстве своем секционирования и разрывов электрической сети, приводящих к снижению надежности электроснабжения потребителей.

ОАО «НТЦ электроэнергетики»,  
ОАО «Институт «Энергосетьпроект»,  
2011 г.

6. Актуализация схемы развития электрических сетей Московского региона напряжением 110 (35) кВ и выше ОАО «Московская объединенная электросетевая компания» на период до 2020 г. Этап 4 – Разработка и технико-экономическое сравнение сценариев развития электрической сети Московского региона с повышенным уровнем надежности и управляемости, с ограниченным уровнем токов КЗ / Научно-технический отчет. ОАО «Институт «Энергосетьпроект», 2010 г. (по заказу ОАО «Московская объединенная электросетевая компания»).