



# ЭНЕРГОЭКСПЕРТ

информационно-аналитический журнал

| www.energyexpert.ru | № 1 | 2007 |



## ИНВЕСТИЦИИ РАО «ЕЭС»: МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

● РЫНОК

Управление активами – задача № 1

● ПРОИЗВОДСТВО

Опыт компенсации реактивной мощности в «Тверьэнерго»

● НАУКА

Кадровый голод – отрасли не тетка



**Авария 2005 года, которая произошла в московской энергосистеме, вскрыла серьезнейшую проблему современного состояния отечественной электроэнергетики – резервы, заложенные еще при СССР, практически полностью исчерпаны. Сегодня обозначены уже 16 регионов пиковых нагрузок, а это означает, что необходимы скорейшие меры по наращиванию энергетического потенциала крупных городов России. Считая данную проблему исключительно важной, мы начинаем цикл публикаций, в которых постараемся всесторонне раскрыть данный вопрос и предложить варианты его разрешения в изложении ведущих экспертов отрасли.**



**ВАРИВодОВ В. Н.**  
 Генеральный директор  
 ОАО «НТЦ электроэнергетики»,  
 доктор технических наук,  
 профессор



**БРЯНЦЕВ А. М.**  
 Генеральный директор  
 ОАО «ЭЛУР»,  
 доктор технических наук,  
 профессор

# ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ МЕГАПОЛИСОВ

Условия работы электрических сетей мегаполисов характеризуются увеличением мощности, передаваемой по отдельным линиям из-за концентрации потребителей, необходимостью компактного исполнения объектов сетей вследствие высокой стоимости земли, повышенными требованиями к обеспечению надежности, управляемости и автоматизации работы оборудования и сетей в целом, а также более жесткой по отношению к другим регионам экологической политикой. Объективно существует два основных направления повышения мощности передающих линий – повышение напряжения и повышение номинального рабочего тока.

## ПОВЫШЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПЕРЕДАВАЕМОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ МЕГАПОЛИСОВ

Традиционный базовый уровень номинального напряжения в России распределительных сетей – 10 кВ представляется недостаточным и требует постепенного перехода электрических распределительных сетей городов на напряжение 20–35 кВ, что уже неоднократно отмечалось в литературе и во многих случаях реализовано на практике. Следует отметить, что стратегически оптимальным является пос-

троение распределительных сетей, где номинальное напряжение соответствует выбранному генераторному напряжению.

Повышение номинального рабочего тока за счет оптимизации выбираемых материалов, контактных соединений, самой конструкции высоковольтных устройств для электрических сетей в принципе давно уже реализовано в таком «мегаполисе», как Япония. В этой стране номинальные рабочие токи, как правило, составляют не 2–4 кА, а 6–8 кА. Такая техническая политика, несомненно, представляет интерес и для других стран, где число мегаполисов растет.

Поскольку плотность электропотребления в мегаполисах резко возрастает (рис. 1), значительно более эффективным и кардинальным решением по увеличению рабочих токов передающих линий является применение сверхпроводящих кабелей, где рабочий ток при тех же радиальных габаритах токоведущей жилы может быть увеличен почти на порядок.

Появление же в 2002–2003 годах высокотемпературных сверхпроводников 2-го поколения резко активизировало работы по практическому применению этих технологий. Реальным препятствием для широкого практического применения сверхпроводящих кабелей, ограничителей тока, трансформаторов является лишь технологическая отработка производства лент сверхпроводников, их соединений, обеспечение стабильности их свойств, а также снижение стоимости.

Уже 2004–2005 году было реализовано и продолжает выполняться несколько коммерческих



проектов на поставку сверхпроводящих кабелей: "SUMITOMO ELECTRIC" завершила длительные испытания трехжильного сверхпроводящего кабеля на напряжение 66 кВ, номинальный ток 1 кА – длиной 100 м, а также заключила контракт с Южной Кореей (KEPRI) на разработку, изготовление и поставку сверхпроводящего кабеля 22,9 кВ, 1,25 кА длиной 100 м; в США реализуется проект DOE/NYSERDA по установке в промышленную эксплуатацию кабеля 34,5 кВ, ток 800 А – длиной 350 м в районе Гудзона и т.д. – эксперты оценивают начало массового применения сверхпроводящих кабелей в 2012–2015 годах.

Ведущие в области высокотемпературной сверхпроводимости страны предполагают достичь к 2007 году критического тока для сверхпроводящих лент примерно 300–500 А на длине 500 м, а к 2010 году – 1000 А на длине 1 км. К 2010 году также ожидается снижение стоимости сверхпроводящих лент до 20–30 \$ на 1 кА·м, что сделает сверхпроводящие кабели конкурентноспособными по отношению к кабелям традиционного исполнения.

Хотя в настоящее время сверхпроводящие кабели, находящиеся в опытно-промышленной эксплуатации, обеспечивают передачу максимальной мощности величиной до 500 МВА, реально обеспечить передачу мощности от единиц до десятков ГВА. По крайней мере, уже сейчас в Японии и Германии имеются разработки на такие параметры.

Таким образом, видимо, распределительные сети мегаполисов второй половины XXI века – это в основном сети, выполненные на генераторном напряжении на основе сверхпроводящих кабелей и ограничителей тока по схеме «генератор – сверхпроводящий ограничитель тока – сверхпроводящий кабель – распределительный пункт – потребитель» с общей системой подземного мощного сверхпроводящего кольца по границе мегаполиса.

### ПОВЫШЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

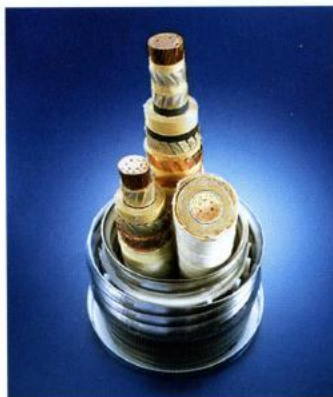
Устойчивой и нарастающей тенденцией электроэнергетических систем мегаполисов (как в мире, так и в России) является отставание роста генерации от нагрузок. Увеличение доли передачи электроэнергии из внешней сети все чаще приводит к обширным системным авариям при сравнительно незначительных аварийных случаях в сети мегаполиса или незначительном изменении конфигурации сети в послеаварийном режиме. Некорректная и неэффективная техническая политика по построению сетей внутри мегаполисов часто является одной из важнейших причин системных аварий, как следует из представленных



данных (см. таблицу на следующей странице) по всем системным нарушениям электроснабжения с 2003 года по ноябрь 2006 года.

Чаще всего системные аварии в мегаполисах развиваются при стабильной частоте, не самом большом общем потреблении электроэнергии, но при значительной составляющей доле реактивной мощности. Это приводит к повышенной зависимости значений напряжений в основной питающей структуре распределительной сети (для Москвы это сети напряжением 110–220 кВ) от изменения нагрузок. Корректировка напряжения решается путем оперативного вмешательства диспетчерского управления. Однако излишняя диспетчеризация регулирования напряжения, преломленная через «человеческий фактор», ставит в зависимость надежность и устойчивость эксплуатации электрической сети в большую зависимость от действий персонала. Очевидно, более правильным решением является автоматизация регулирования напряжения по узлам нагрузки на основе современных технических средств по четко заранее заданному алгоритму. Это и является основной задачей повышения устойчивости и надежности как внутренних сетей мегаполисов, так и их внешних электрических связей.

**Трехфазный сверхпроводящий кабель 66 кВ ("SUMITOMO ELECTRIC", Япония)**





▶ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНЕЙШИХ АВАРИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ В 2003–2006 ГОДАХ (ПО ДАННЫМ СИГРЗ-2006 И ПУБЛИКАЦИЯМ ЗА ОКТЯБРЬ – НОЯБРЬ 2006)

Страна/Дата	Уровень тяжести аварии	Время восстановления	Особенности аварии в начальный период Причина	Рекомендуемые меры	
США	14.08.2003	Отключившаяся мощность 61 тыс. МВт.	Время отключения 48 часов.	Предельная нагрузка и перегрузка участков сети, отключение ВЛ, нарушение статической и динамической устойчивости. Лавина напряжения.	Необходима четкая организация работ по восстановлению.
	2005	Более нескольких миллионов жителей обесточено.		Повреждение опор ЛЭП. Экстремальные природные воздействия (тайфуны «Katrine», «Ryta»).	
Финляндия	2003	Отключившаяся мощность 0,5 тыс. МВт.	Время отключения 15–71 минута.	Ошибка персонала ДЦУ.	
Великобритания	2003	Отключившаяся мощность 0,724 тыс. МВт.	37 минут.	Неправильная работа релейной защиты (реле Бухгольца).	
Италия и Швейцария	Август 2003	Отключившаяся мощность 28 тыс. МВт.	3–18 часов.	Большая нагрузка и перегрузка сети, отключение ВЛ. Лавина напряжения.	
Россия	Май 2005	Отключившаяся мощность 3,54 тыс. МВт.	23 часа 30 минут.	Большая нагрузка и перегрузка сети, отключение ВЛ. Лавина напряжения.	
Швеция	23.09.2003	Отключившаяся мощность 6,6 тыс. МВт.	1–6,5 часа.	Совпадение внутренних и внешних факторов, создавшее аварийную ситуацию.	
	08.01.2005	0,3 млн. человек обесточено.	48 часов.	Повреждение опор ЛЭП. Экстремальные природные воздействия – ураган.	
Япония	22.12.2005			Повреждения линейной изоляции. Сильный снегопад и гололед. Аномальное снижение напряжения.	Замена изоляторов на более стойкие к перекрытию.
	2006	Потеря 4800 МВт. Отключение около 1 млн. человек.		Перехлест проводов и короткое замыкание. Сильный ветер со снегом. Падение частоты.	1. Установка распорок на проводах. 2. Нормирование порядка отключения потребителей.
	14.08.2006	Потеря 2160 МВт. Отключение более 1 млн. человек.	Отключение на 59 минут.	Повреждение магистральной линии. Повреждение (обрыв) проводов подъемным краном. Падение напряжения и частоты.	Необходима оптимизация конфигурации сети.
Германия	25.11.2005	Обесточен крупный район. Повреждено 80 опор.	Отключение на 5 дней.	Механические перегрузки из-за налипшего снега.	Необходима оптимизация систем SCADA и управляющих систем.
Новая Зеландия	12.07.2006	Потеря 11 % мощности (900 МВт).	30 часов.	Обрыв грозозащитного троса и к.з. на линии. (Сильный снежный шторм, устаревшая конструкция ЛЭП). Падение частоты.	Переход с напряжения 220 кВ на 400 кВ.
ЮАР		Не было крупных аварий.		Пробой линейной изоляции (проводящие осадения на изоляторах). Отключение ряда блоков на АЭС.	Установка новых типов эрозийностойких изоляторов.
Франция		Не было крупных аварий.		Возможные причины аварий: высокая температура. Увеличение потребления энергии из-за кондиционеров.	1. Координация действий компаний. 2. Оповещение населения. 3. Штаб ликвидации аварий. 4. Четкий порядок отключения нагрузок. 5. Учения.
Ирландия		Не было крупных аварий.		Отключение одной из магистральных линий для обслуживания при недостаточной мощности и некорректный сигнал по разделению систем. Повреждение изоляции. Падение частоты.	
Бразилия	Январь 2002	Не было крупных аварий.		Возможные причины: отключение отдельных мощных линий для обслуживания. Контакты проводов с растительностью. Ветер.	1. Усиление опор. 2. Синхронизация систем управления и информатизации. 3. План повышения стойкости к авариям.
Польша	26.06.2006	Дефицит активной мощности – 1000 МВт; реактивной – 600 МВт.		Нагрузка возросла выше обычной. Недостаточность активной и реактивной мощности. Температура 25–30 °С. Напряжение в ряде узлов упало на 10 %. Подключение систем Словакии, Германии, Чехии.	1. Установка новых генерирующих мощностей. 2. Четкий порядок отключения нагрузки. 3. Улучшение реактивной составляющей.
Германия Франция Австрия Бельгия Испания Нидерланды Хорватия Португалия	Ноябрь 2006	5–10 млн. человек отключено.	Отключение на 38 минут.	Отключение одной мощной линии по технологическим причинам. Недостаточность активной и реактивной мощности.	



Основными техническими средствами обеспечения необходимого регулирования напряжения в узлах нагрузки сетей переменного тока являются устройства компенсации реактивной мощности. Автоматизация регулирования достигается применением управляемых устройств компенсации, таких, как устройства FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems), представляющих собой комплекс индуктивностей и емкостей, объединенных специальной схемой их управления – как правило, с использованием современных полупроводниковых приборов (в том числе управляемых).

Из технологии FACTS и решаемых с ее помощью задач наиболее актуальной для электрической сети мегаполиса является автоматическая стабилизация напряжения распределительной сети с последовательным исключением влияния графика нагрузки на уровни напряжения.

Известно и подтверждено на практике, что дооснащение электрической сети автоматическими управляемыми источниками реактивной мощности в нужном количестве обеспечивает автоматическую стабилизацию напряжения по заданной уставке в узлах нагрузки, повышает пропускную способность сети до 30–50 % и до 20 % снижает удельные потери в ней. Применительно к Московскому региону это будет означать, что вмешательство диспетчерского персонала в процесс стабилизации напряжения сети будет ограничено только задачей задания на значение напряжения в узлах нагрузки на границе отпуска электроэнергии, электрическая сеть региона позволит пропустить к потребителю дополнительно 3–4 ГВт активной энергии, и при этом удельные потери в электрической сети останутся на прежнем уровне. Поэтому кроме общих задач обновления и модернизации электросетевого оборудования необходимым условием повышения надежности электроэнергетических систем мегаполиса является ужесточение требований к автоматическому поддержанию заданного напряжения в узлах нагрузки распределительной сети.

Данные устройства могут быть реализованы на базе широкой гаммы отечественного и зарубежного оборудования (управляемые продольные компенсаторы, статические тиристорные компенсаторы, асинхронизированные генераторы, СТАТКОМ шунтирующие реакторы и пр.). Применение того или иного оборудования зависит от конкретных требований по их установке и технико-экономической обоснованности.

Следует отметить, что возможны и другие причины развития системных аварий в крупных энергосистемах – как видно из табли-



цы, к основным причинам системных аварий можно отнести:

1. Экстремальные природные воздействия и в результате – многократные повреждения изоляции.
2. Катастрофические разрушения из-за природных катаклизмов.
3. Наложение суровых природных условий и недостаток активной, реактивной мощности.
4. Неправильное управление системой в условиях дефицита мощности.
5. Механические повреждения крупных магистральных линий при движении объектов.

Зарубежными фирмами кроме установки источников реактивной мощности предлагаются следующие мероприятия по уменьшению вероятности крупных аварий:

1. Замена изоляторов на более стойкие к перекрытию.
2. Установка распорок на проводах.
3. Необходима оптимизация конфигурации сети.

**СТАТКОМ в процессе испытаний (НТЦ электроэнергетики, Россия)**

**Управляемые шунтирующие реакторы в эксплуатации (ЭЛПР, Россия)**





4. Усиление конструкции опор.
5. Установка новых источников активной энергии.
6. Четкий регламент отключения потребителей.
7. Оптимизация работы систем управления, информации в условиях возможных аварий.
8. Наличие плана работы в условиях возможной аварии.
9. Четкая организация работ по восстановлению.

**КОМПАКТНОСТЬ СЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ**

Полосы отчуждения под линии электропередачи и подстанции с учетом значительной протяженности ЛЭП и большого количества распределительных устройств (рис. 2) могут достигать чрезвычайно больших величин – для напряжения 35 кВ и выше площадь отчуждаемых территорий вследствие прохождения ЛЭП в России, например, близка к территории Дании.

Особенно эта проблема становится актуальной для территорий развивающихся мегаполисов, где стоимость земли возрастает многократно. Для уменьшения отчуждения территории под линии электропередачи и снижения воздействия на окружающую среду все большее распространение находят компактные линии электропередачи и подстанции различного исполнения.

**КОМПАКТНЫЕ ВОЗДУШНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

В случае применения традиционной основной изоляции – воздуха сокращение изоляционных расстояний и повышение компактности линий электропередачи достигается за счет следующих технологий:

- использования экранированных проводов и проводов с увеличенным диаметром;
- применения высокопрочных полимерных линейных изоляторов нового поколения;
- установки столбовых ограничителей перенапряжений;
- применения многогранных и конических металлических опор;
- использования изолированных проводов;

- оптимизации распределения электрического поля.

Использование экранированных проводов и проводов с увеличенным диаметром позволяет снизить рабочие напряженности электрического поля и, соответственно, уменьшить основные изоляционные промежутки.

Высокопрочные полимерные изоляторы дают возможность отказаться от традиционных траверс и значительно сократить габариты опор.

В районах с малой грозовой активностью эффективным является установка в определенных точках столбовых ограничителей перенапряжений и отказ от грозозащитных тросов.

Диаметр многогранных и конических опор значительно меньше, чем у традиционных решетчатых – это дает дополнительный выигрыш в компактности опор.

Традиционным направлением повышения компактности опор является оптимизация электрического поля.

Типовое решение для компактной линии электропередачи представлено на рис. 3.

Совокупность применения различных технологий позволяет почти вдвое сократить габариты опоры и соответственно полосы отчуждения.

Указанный подход позволяет также облегчить создание многоцепных линий электропередачи на сверхвысокие и ультравысокие напряжения, а значит, и существенно уменьшить полосы отчуждения под ЛЭП.

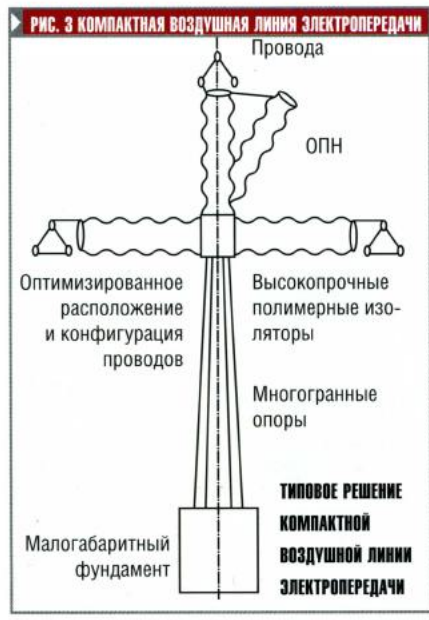
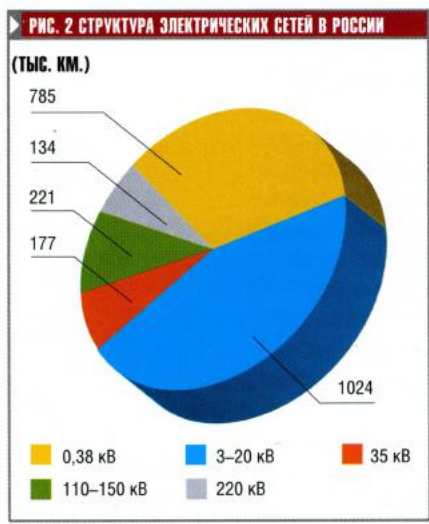
**ГАЗОИЗОЛИРОВАННЫЕ ЛИНИИ**

К другим перспективным решениям можно отнести газоизолированные линии (ГИЛ), где воздух, элегаз или другой газообразный диэлектрик находится при избыточном давлении. Такие линии целесообразны в больших городах или на подходах к ним, а также для подстанционных связей.

Относительная диэлектрическая проницаемость газа близка к единице – в результате погонная емкость примерно в 3–4 раза меньше, чем у обычных кабелей и, соответственно, значительно меньше и потери. Поэтому газоизолированные линии можно применять для передачи энергии на достаточно далекие расстояния.

Для протяженных газоизолированных линий характерно два типа исполнения: однофазное и трехфазное. В случае однофазного исполнения токоведущая жила и оболочка располагаются коаксиально. Опорные изоляторы, установленные на одинаковом расстоянии, удерживают жилу в центре оболочки (рис. 4).

В случае трехфазного исполнения три токоведущие жилы устанавливаются по вершинам треугольника внутри одной герметизированной оболочки.





Оболочка обеспечивает механическое крепление внутренних элементов, герметизацию газового объема, обеспечивает надежную защиту окружающей природы и населения от воздействия электрических и магнитных полей.

Для удобства проведения возможных ревизий и ремонтов целесообразно линейное секционирование газоизолированных линий. Для этого используются герметичные дисковые изоляторы. Тепловое расширение корпуса обычно компенсируется с помощью сильфонов из нержавеющей стали или алюминия.

Газоизолированные линии, как правило, прокладываются в тоннелях.

В настоящее время в мире реализовано более 500 проектов ГИЛ.

### ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ КАБЕЛИ

Традиционным вариантом перехода к компактным линиям электропередачи является использование высоковольтных и сверхвысоковольтных кабелей – на напряжение вплоть до 500 кВ.

До последнего времени широко использовались кабели с бумажно-масляной изоляцией. Однако сейчас наиболее перспективными являются кабели с теплостойкой экструдированной изоляцией (сшитый полиэтилен (СПЭ) и этилен-пропиленовая резина), а также сверхпроводящие кабели.

Переход от кабелей с бумажной пропитанной изоляцией к кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена связан со следующими преимуществами последних:

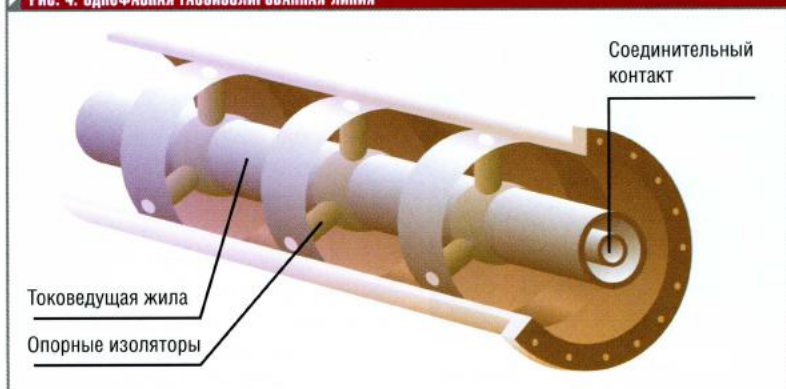
- высокой пропускной способностью;
- низким весом, меньшим диаметром и радиусом изгиба;
- более высокой надежностью;
- возможностью прокладки на сложных трассах;
- относительно низкой себестоимостью прокладки.

Применение данных кабелей вместо других кабелей с полимерной изоляцией позволяет увеличить длительно допустимую температуру нагрева жил кабелей при рабочем токе до 90 °С и до 250 °С при токах короткого замыкания.

Своими уникальными свойствами кабели с изоляцией из СПЭ обязаны применяемому изоляционному материалу.

Известно, что полиэтилен в настоящее время является одним из наиболее применяемых изоляционных материалов при производстве кабелей. Но термопластичному полиэтилену присущи серьезные недостатки, главным из которых является резкое ухудшение механических свойств при температурах, близких к

Рис. 4. Однофазная газоизолированная линия



температуре плавления. Решением этой проблемы стало применение сшитого полиэтилена, где макромолекулы полиэтилена более тесно связаны («сшиты») друг с другом.

Конструкция кабелей с изоляцией из СПЭ значительно отличается от традиционных кабелей с бумажной изоляцией. Кабели выпускаются с многопроволочной круглой медной или алюминиевой жилой, а применение различных типов оболочек и возможность герметизации позволяют использовать кабель как для прокладки в земле, так и для кабельных сооружений, в том числе при групповой прокладке.

При прокладке в земле дополнительно применяется оболочка из полиэтилена высокой плотности, обеспечивающая необходимую защиту кабеля от механических повреждений, как при прокладке, так и в процессе эксплуатации.

Однако все существующие высоковольтные кабели с масляной, бумажной, синтетической изоляцией рассчитаны на критические мощности от 1500 до 2500 МВА и, как правило, максимальную длину до нескольких сотен метров. Причиной этого являются необходимость применения специальных систем охлаждения и повышенные потери, связанные с достаточно высокой диэлектрической проницаемостью изоляционных материалов. Поэтому значительный интерес представляют рассмотренные выше бурно развивающиеся технологии сверхпроводящих кабелей.

### КОМПАКТНЫЕ ПОДСТАНЦИИ

В области подстанционного оборудования также наблюдается стремление к созданию компактных устройств как за счет применения новых видов изоляции и оптимизации изоляционных промежутков, так и путем комбинации отдельных высоковольтных устройств в одном корпусе.

**Элегазовый токопровод на напряжение 550 кВ (Westboro, США)**







**Устройства PASS (Plug And Switch System)**

Наиболее известным технически решением является применение комплектно-распределительных устройств с элегазовой изоляцией – КРУЭ, поскольку электрическая прочность элегаза значительно превосходит электрическую прочность воздуха.

Современный уровень и технология изготовления КРУЭ позволяют с достаточной степенью надежности производить КРУЭ в общем кожухе на три фазы вплоть до напряжений

500 кВ, однако в настоящее время общепринято производство КРУЭ в общем кожухе до напряжений не более 170–220 кВ, что обеспечивает наиболее оптимальное построение подстанций (рис. 5).

С целью дальнейшего увеличения компактности наблюдается тенденция к объединению в одном герметизированном отсеке разных аппаратов, например, выключателя с трансформаторами тока, сборных шин с разъединителями и заземлителями и т.д., и в конечном счете созданием полностью герметизированных подстанций с элегазовыми силовыми трансформаторами.

Стремление к использованию КРУЭ объясняется следующими их достоинствами:

- компактностью – площадь, занимаемая КРУЭ, составляет несколько процентов от площади, требуемой для ОРУ, а объем ячеек

ки КРУЭ более чем в 100 раз меньше объема ячейки ОРУ;

- высокой надежностью и безопасностью в обслуживании;
- стойкостью к загрязненной окружающей среде;
- возможностью установки в сейсмически активных и труднодоступных районах;
- простотой монтажа.

Кроме того, для ОРУ все большее распространение получают комбинированные выключатели типа PASS ( Plug And Switch System – система «присоединяй и включай»), совмещающие в одном корпусе кроме выключателя и трансформатора тока еще и разъединители с заземлителями.

Дальнейшее повышение компактности по отношению к традиционной подстанции с КРУЭ (в несколько раз!) при одновременном исключении пожароопасности, достигается путем применения силовых элегазовых трансформаторов, мощность которых достигла 300–400 МВА, а номинальное напряжение 330 кВ. В результате в Японии, Австралии и других странах в мегаполисах уже реализовано большое число проектов полностью герметизированных и автоматизированных компактных подстанций без обслуживания – 66–330 кВ с элегазовой изоляцией. Поскольку эти подстанции являются пожаробезопасными и располагаются под землей, то обычно экономический эффект связан не только со значительным сокращением используемой земли, но и возможностью возведения над подстанциями многоэтажных зданий.

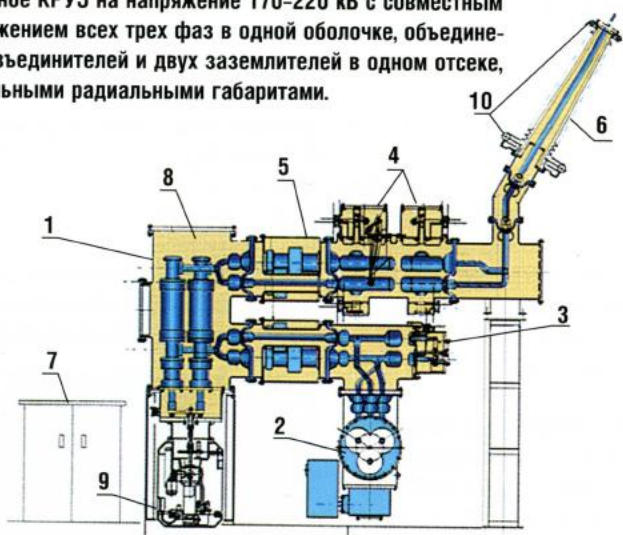
**ВЫВОДЫ**

1. Условия работы электрических сетей мегаполисов характеризуются несомненными особенностями (увеличением плотности передаваемой мощности, возможностью снижения управляемости сети, необходимостью компактного исполнения электроэнергетических объектов, социальными аспектами обеспечения высокой надежности и экологичности электроснабжения), которые в настоящее время недостаточно учитываются при реализации технической политики при развитии городов.

2. В период до 2010–2015 гг. техническая политика по развитию электрических сетей как системы в мегаполисах должна быть направлена на повышение их надежности, прежде всего путем ужесточения требований к автоматическому поддержанию заданного напряжения в узлах нагрузки распределительной сети. Основными техническими средствами обеспечения необходимого регулирования

**РИС. 5. КОМПАКТНОЕ КРУЭ НА НАПРЯЖЕНИЕ 170–220 КВ**

Компактное КРУЭ на напряжение 170–220 кВ с совместным расположением всех трех фаз в одной оболочке, объединением разъединителей и двух заземлителей в одном отсеке, минимальными радиальными габаритами.



- |  |  |
|--|--|
| <p>1 – выключатель;<br/>2 – сборные шины;<br/>3 – заземлители;<br/>4 – комбинированные разъединители-заземлители;<br/>5 – трансформаторы тока;</p> | <p>6 – высоковольтные вводы;<br/>7 – шкаф управления;<br/>8 – элегаз;<br/>9 – гидравлический привод;<br/>10 – экраны вводов.</p> |
|--|--|



напряжения в узлах нагрузки сетей переменного тока должны быть автоматизированные устройства компенсации реактивной мощности (шунтирующие реакторы, батареи конденсаторов, СТК, асинхронизированные генераторы, СТАТКОМ и пр.).

3. В период до 2010–2015 гг. техническое перевооружение сетей должно осуществляться на основе оборудования наиболее адекватного по своим характеристикам современным требованиям к электрооборудованию мегаполисов – полностью герметизированных и автоматизированных компактных подстанций (на напряжение 110–330 кВ – в элегазовом исполнении без маслонаполненных пожароопасных трансформаторов), кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, газоизолированных линий, компактных воздушных линий передачи, полимерных изоляторов.

В этот же период должны быть заложены научно-технические основы создания сетей мегаполисов нового поколения на основе сверхпроводящих кабелей на генераторном напряжении (по схеме «генератор – сверхпроводящий ограничитель тока – сверхпроводящий кабель – распределительный пункт – потребитель» с общей системой подземного мощного сверхпроводящего кольца по границе мегаполиса).

4. В период 2015–2030 гг. все новые строящиеся сетевые объекты в мегаполисах



должны быть, как правило, в подземном исполнении (как подстанции, так и линии передачи), с все более возрастающей долей сверхпроводящих кабелей, внедряемых не как отдельные линии, а как отдельные сегменты сети.

**Полностью элегазовая подстанция 275 кВ (Тошиба, Япония)**



**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
НТЦ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**



ОАО «НТЦ электроэнергетики» является признанным лидером в области научных и инженерных решений в области электрических сетей и оптимизации режимов и способов передачи электроэнергии, а также в сфере проектирования электросетевых и энергетических объектов.

Компания оказывает инжиниринговые услуги, осуществляет инновационную деятельность, проводит испытания и сертификацию электротехнического оборудования, а также ведет научно-исследовательскую работу в сфере электроэнергетики.

Особое место в объеме выполненных работ ОАО «НТЦ Электроэнергетики» занимают технологии и устройства управляемых линий электропередачи (FACTS) и нормативно-техническое обеспечение в сфере электроэнергетики.

**Адрес:** 115201, г. Москва, Каширское шоссе, 22/3  
**Телефон:** (495) 727-19-09  
**Факс:** (495) 113-28-09  
**E-mail:** info@ntc-power.ru