



## ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕООРУЖЕНИЕ

### Совершенствование концепции и методов организации энергоснабжения мегаполисов

Кузнецов Д. В., канд. техн. наук, Гольдштейн В. Г., доктор техн. наук

Самарский государственный технический университет

Рассмотрены концептуальные проблемы современного состояния и перспективы развития систем электроснабжения мегаполисов. Дан анализ их особенностей и специфики построения в условиях запрета на строительство новых воздушных линий 110 кВ и выше в черте города и перевода существующих ВЛ на кабельное исполнение. Приведены варианты развития сети 110 – 330 кВ Санкт-Петербурга с учетом отказа от воздушных линий в пользу кабельных.

**Ключевые слова:** мегаполис, система электроснабжения, надежность, кабельные и воздушные линии электропередачи, активная и реактивная мощность.

Системы электроснабжения мегаполисов (СЭСМ) характеризуются рядом технико-экономических показателей, в частности, таких, как техническое состояние электрооборудования, надежность электроснабжения, энергетическая эффективность, воздействие на окружающую среду, способность противодействовать возмущениям и самовосстанавливаться. С учетом этого можно сформулировать основные задачи их перспективного развития:

повышение управляемости и надежности эксплуатации, и как следствие — снижение различных рисков, сопутствующих основной деятельности электросетевых компаний путем применения для этой цели различных систем, средств и их комбинаций (фазоповоротных устройств — ФПУ, токоограничивающих реакторов — ТОР, вставок постоянного тока и т. д.);

максимальное использование пропускной способности всех элементов существующей сети для обеспечения возможности подключения новых потребителей электроэнергии без строительства дополнительной электросетевой инфраструктуры; снижение капитальных затрат электросетевой компании за счет применения средств компенсации реактивной мощности (СКРМ), в том числе управляемых, расположенных вблизи нагрузки;

снижение потребления электроэнергии при пиковых нагрузках (путем создания комплексной системы, воздействующей на статические характеристики нагрузки), благодаря чему сокращаются объемы используемых

энергоресурсов при сохранении качества электроэнергии;

уменьшение потребления энергоресурсов даже при подключении новых потребителей электроэнергии;

сокращение эксплуатационных издержек сетевых и генерирующих компаний за счет снижения потерь мощности и увеличения надежности и живучести энергосистемы.

Выделим следующие практически значимые направления интеллектуализации СЭСМ:

управление потоками активной мощности;

автоматическое регулирование уровней напряжения;

увеличение надежности работы электрооборудования.

Эти направления повышения надежности и качества электроснабжения потребителей и безотказности работы энергосистем выбраны в связи с особенностью смешанных энергосистем мегаполисов — их сложно-замкнутой кольцевой структурой. Например, при развитии энергосистемы Санкт-Петербурга, предполагающем замыкание большого и малого сетевых “колец” 330 кВ, возникает необходимость в эффективном управлении потоками мощности (особенно в аварийных режимах).

Очевидно, что сооружение традиционных открытых распределительных устройств (ОРУ) и строительство воздушных линий (ВЛ) в условиях мегаполисов в большинстве случаев невозможно. Кроме того, действующим законодательством РФ **не разрешается строительство новых ВЛ 110 кВ и выше** на террито-



регулирования перетоков мощности в том или ином сечении между параллельными КЛ и ВЛ для выравнивания их загрузки (наиболее дешевым способом достижения этой цели является установка нерегулируемого сухого ТОР последовательно с КЛ для выравнивания сопротивления между ней и ВЛ);

регулирования уровня напряжений в узлах такой сети (ввиду наличия значительной зарядной мощности применяемых КЛ) с помощью различных агрегатов, включая и традиционные шунтирующие реакторы (ШР);

снижения резонансных перенапряжений в контуре, состоящем из поперечной емкости КЛ и КРУЭ и индуктивности ШР и ТОР и обладающем значительной добротностью вследствие малых потерь в современном оборудовании;

ограничения воздействия ВЧ-перенапряжений (возникающих при коммутациях внутри КРУЭ ввиду специфичности его параметров) на изоляцию автотрансформаторов, силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения и другого оборудования, установленного вблизи КРУЭ;

выбора параметров КЛ, их пропускной способности (в зависимости от условий и способов прокладки), т. е. сечения токопроводящих жил и экранов, способов заземления экранов;

ограничения уровней токов КЗ;

регулирования потоков мощности по контролируемым сечениям в режиме реального времени.

Для обеспечения максимального уровня надежности и минимума капитальных и эксплуатационных затрат перечисленные проблемы следует решать комплексно с учетом системного подхода к организации архитектуры энергосистемы при реконструкции существующих ВЛ путем их перевода на кабельное исполнение.

При рассмотрении схемы энергосистемы Санкт-Петербурга с точки зрения развития сети 110 – 330 кВ с учетом отказа от существующих ВЛ 330 – 35 кВ в пользу КЛ сегодня и в перспективе возможны различные варианты:

I. С сохранением существующей конфигурации системы.

II. С определением оптимальной конфигурации высоковольтной системообразующей сети, позволяющей обеспечить нормативные показатели живучести энергосистемы, ее эксплуатационной надежности с одновременным отказом от части избыточных городских воз-

душных линий и в случае необходимости — строительством новых распределительных пунктов (подстанций).

Рассматриваемые варианты требуют комплексной оценки для обеспечения критерия общего системного подхода к решению задачи, универсализации применяемых решений, определения основных вариантов развития сети путем анализа возможных схем и расчетов разных режимов их работы. Результаты расчета электрических режимов предварительного варианта показали, что полученная основная системообразующая сеть удовлетворяет надежности энергосистемы согласно “Методическим рекомендациям по устойчивости энергосистем”. Карты-схемы перспективных электрических соединений сети 110 – 750 кВ энергосистемы Санкт-Петербурга на уровне 2020 г. в рассматриваемых вариантах с учетом Соглашения [3] приведены на рис. 2 и 3. Технико-экономическое сравнение этих вариантов представлено в таблице. Следует отметить, что выбор второго варианта позволит снизить на 8 % затраты на техническое обслуживание и ремонт кабельных линий.

Проведенный анализ позволяет констатировать:

1. На основе сравнения двух предложенных альтернативных вариантов с учетом системного подхода показано, что при прочих равных условиях принципиально возможно обеспечить минимум затрат на перспективное развитие энергосистемы Санкт-Петербурга с нормативными уровнями надежности, переводом существующих ВЛ 330 – 35 кВ на кабельное исполнение и строительством новых КЛ (включая эксплуатационные затраты).

2. Установлено, что значительной разницы (в несколько раз) в стоимости реализации обоих вариантов нет (она может составлять 5 – 15 %). Однако учитывая порядок общих стоимостей реализации альтернативных вариантов развития энергосистемы, можно считать, что при достижении правой границы указанного интервала возможна экономия значительных средств (десятки миллиардов рублей).

3. При реализации вариантов необходимо решать задачи:

ограничения токов КЗ;

компенсации избыточной реактивной мощности для обеспечения нормативного уровня напряжений в узлах сети путем установки СКРМ с установленной мощностью от 3500 до 4000 МВ · Ар (ШР, УШР, СТК и др.);



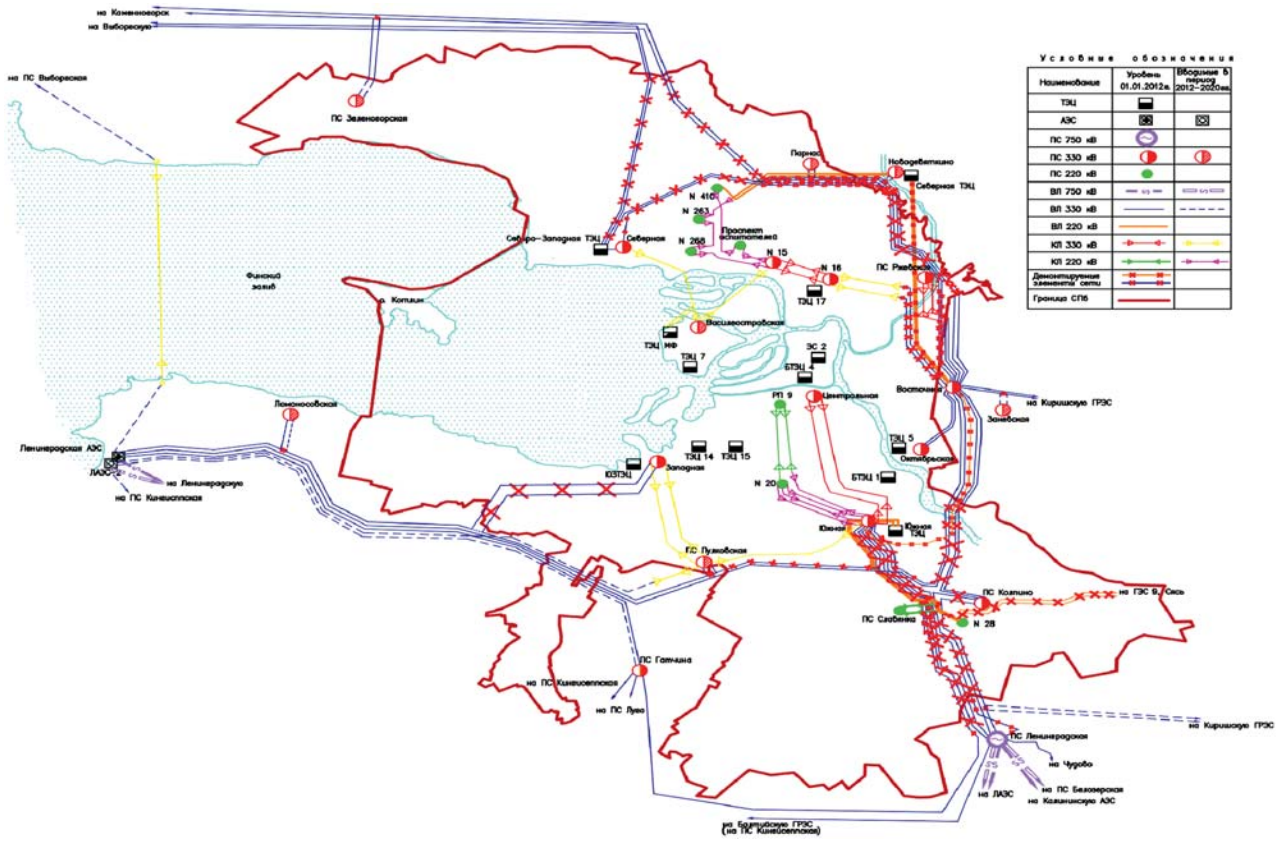


Рис. 2

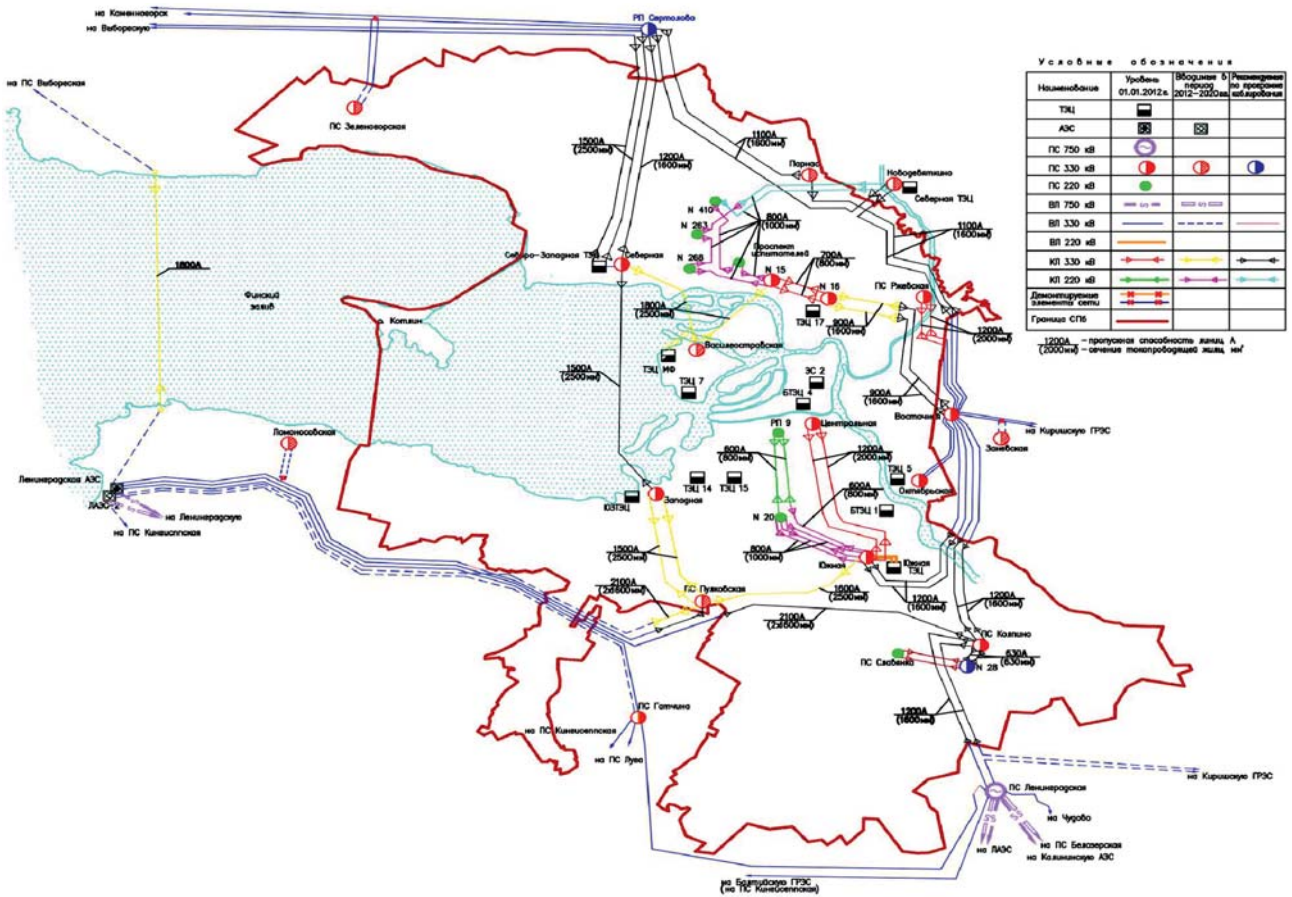


Рис. 3

Вариант	Параметр					
	Длина ВЛ, км	Площадь высвобождаемых участков, га	Стоимость высвобождаемых участков, млн руб.	Длина КЛ, км	Зарядная мощность, МВ·Ар	Мощность реакторов, МВ·Ар
I	1187	2716,56	129517,43	1617,6	5058,96	4005,50
II				1514	4641,60	3629,88
Вариант	Параметр					
	Стоимость КЛ, млн руб.	Стоимость компенсации реактивной мощности, млн руб.	Рентабельность, %			
I	114014,39	5327,50	8,5			
II	106633,32*	4079,23	17,0			

\* С учетом стоимости строительства двух ПС 330 кВ.

определения рекомендуемых мест установки СКРМ и анализа фактической возможности их установки;

регулирования потоков мощности в системе (ФПУ, ТОР и др.);

определения трасс новых КЛ в условиях городской застройки и т. д.

**Без комплексного подхода к рассмотрению ситуации по всей СЭСМ решить указанные задачи невозможно.** При этом для различных вариантов степень трудности их различна. Нужный вариант следует выбирать на основе технико-экономического сравнения полученных показателей и обсуждения их со всеми заинтересованными сторонами.

Отличительной особенностью при решении рассматриваемой проблемы должен стать комплексный подход к интеллектуализации сети. Целесообразно рассматривать как единое целое весь процесс — от производства, передачи, распределения энергии до ее потребления. Соответственно поэтапное введение элементов автоматического управления на каждом из указанных уровней увеличит надежность работы СЭСМ в целом. У потребителей электроэнергии при этом повысится качество электроснабжения и в некоторой степени уменьшится число отключений в аварийных режимах.

В предлагаемых вариантах интеллектуальная электрическая сеть в зависимости от сложившихся условий будет автоматически проводить реконфигурацию для достижения минимума затрат энергоресурсов без снижения надежности СЭСМ.

Для реализации мероприятий требуется применение инновационных технологий и оборудования — управляемых устройств КРМ, управляемых устройств регулирования потоков активной мощности, новейших конструкций РПН, новых систем управления СЭСМ.

Предварительные расчеты электрических режимов на 2016 г. для вариантов перспективного развития энергосистемы Санкт-Петербурга с учетом совокупности предлагаемых систем и методов показывают, что при внедрении автоматической системы поддержания уровней напряжения в сети 110 кВ около 112 – 113 кВ в зимний период ожидается снижение потребления активной мощности энергосистемы на 136 МВт в часы максимальных нагрузок и на 67 МВт при минимальных нагрузках. Это достигается в соответствии со статическими характеристиками нагрузки, а также за счет уменьшения потерь в энергосистеме. Так, при прогнозируемом на 2016 г. времени использования максимума нагрузки в энергосистеме Санкт-Петербурга и Ленинградской области на уровне 5924 ч экономия электроэнергии (также с учетом прогнозируемой балансовой ситуации) должна составить 805,6 млн кВт·ч/год. Помимо этого в связи с установкой СКРМ на подстанциях 110 кВ автотрансформаторы 330/110 кВ освободятся от транзитных потоков реактивной мощности и, как следствие, будут меньше загружены. При реализации предлагаемых вариантов возможно разгрузить автотрансформаторы основных системообразующих подстанций суммарно до

465 МВ · А (полной мощности), а полученный запас по мощности использовать для присоединения новых потребителей без строительства дополнительных сетевых элементов (новых ПС, линий) и ввода дополнительных трансформаторных мощностей.

### Выводы

1. В условиях запрета на строительство традиционных ОРУ и ВЛ 110 кВ и выше в черте города при дальнейшем развитии СЭСМ в результате перевода существующих ВЛ на кабельное исполнение и строительства новых КЛ, использования КРУЭ, СКРМ и т. д. возможны создание новых и реконструкция существующих электросетевых объектов.

2. При проектировании СЭСМ необходимо обеспечить соответствие разработок законодательным и директивным ограничениям, реальным условиям мегаполиса и современным требованиям живучести, эксплуатационной надежности на основе существующей нормативной базы, а также оптимальность развития СЭСМ в целом при минимуме капитальных и эксплуатационных затрат.

3. Технико-экономическое сравнение альтернативных вариантов реализации развития сети 110 – 330 кВ Санкт-Петербурга с учетом

отказа от ВЛ в пользу КЛ показывает, что сегодня и в перспективе максимальная разница по затратам находится в интервале 5 – 15 %, что при достижении правой границы дает значительную экономию средств (десятки миллиардов рублей).

### Список литературы

1. **Свод правил** СП 42.13330.2011 г. (СНиП 2.07.01–89) “Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений” (п.п. 12.22, 12.23, 12.24).
2. **Закон № 728-99** от 22 декабря 2005 г. “О генеральном плане и границах зон охраны культурного наследия на территории Санкт-Петербурга” (редакция от 12.05.2008 г.).
3. **Соглашение № 4-с** между ОАО “ФСК ЕЭС” и Санкт-Петербургом о сотрудничестве при реализации Программы по переводу воздушных высоковольтных линий электропередачи на кабельные территории Санкт-Петербурга.
4. **Хренников А. Ю., Гольдштейн В. Г., Складчиков А. А.** Анализ состояния воздушных линий электропередачи 6 – 500 кВ. — Электрические станции, 2010, № 5.
5. **Хренников А. Ю., Складчиков А. А.** Технологические нарушения с участием высоковольтного электрооборудования подстанций: методология расследования и причины повреждений. — Промышленная энергетика, 2012, № 6.

**d\_kuznetsov@rosproject.com**