РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ МЕГАПОЛИСОВ НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

АВТОРЫ:

КУЗНЕЦОВ Д.В.,
К.Т.Н.
ЗАО «РОСПРОЕКТ»

ВАСИЛЬЕВ Е.О.,
К.Т.Н.
ЗАО «РОСПРОЕКТ»

Электроэнергетические системы (ЭЭС) больших городов развиваются более высокими темпами по сравнению с другими энергообъектами. Мегаполисы представляют собой крупные формы городских образований, которые возникают или образуются путем интегрированного объединения города с окружающими его населенными пунктами. В результате слияния инфраструктур образуются сложные технические системы, которые должны обеспечивать гарантированное энерго- и электроснабжение потребителей и функционирование всех подсистем ЭЭС мегаполиса.

Энергосистема Санкт-Петербурга характерна для современных развивающихся мегаполисов

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ МЕГАПОЛИСОВ

Современные мегаполисы обладают рядом специфических особенностей:

- высокая плотность застройки;
- сокращение свободных площадей внутри города, необходимых для развития его инфраструктуры;
- высокие требования к электромагнитной совместимости электрических сетей высокого и сверхвысокого напряжения с оборудованием техносферы и коммуникационными сетями, а также – к допустимому уровню воздействия электромагнитных полей на человека;
- наличие крупных производственных центров и большого числа автотранспорта (который является основным источником загрязнения изоляции ВЛ и оборудования подстанций);
- высокая стоимость свободной земли в городской черте;
- повышенные эстетические требования к архитектурному облику построек и сооружений, расположенных в черте города (в том числе и к объектам электроэнергетики).

Все это серьезно осложняет развитие и поддержание необходимого уровня надежности энергосистем мегаполисов. Очевидно, что возведение традиционных ОРУ и ВЛ в таких условиях в большинстве случаев невозможно.

В данной работе мы рассматриваем Санкт-Петербург, являющийся типичным современным мегаполисом и имеющий энергосистему, характерную для всех современных активно развивающихся мегаполисов. Анализируются варианты развития существующей энергосистемы, их технико-экономическое сравнение, проблемы и возможные решения. Как правило, сети мегаполисов имеют сложно-замкнутые кольцевые структуры. Это характерно и для энергосистемы Санкт-Петербурга.

Функциональное состояние современной ЭЭС определяется набором следующих основных качественных показателей:

- техническое состояние электрооборудования;
- надежность электроснабжения;
- энергетическая эффективность;
- воздействие на окружающую среду;
- способность противодействовать возмущениям;
- способность к послеаварийному самовосстановлению.

Следует также подчеркнуть, что действующее законодательство РФ запрещает строительство новых ВЛ 110 кВ и выше на территории городов. Более того, в Санкт-Петербурге принят закон города Санкт-Петербурга №728-99 «О Генеральном плане Санкт-Петербурга и границах зон охраны культурного наследия на территории Санкт-Петербурга», в который дополнительно внесен запрет на строительство новых ВЛ 110 кВ и выше в черте города. Этот закон определяет программу реконструкции существующих ВЛ с переводом их в кабельное исполнение.

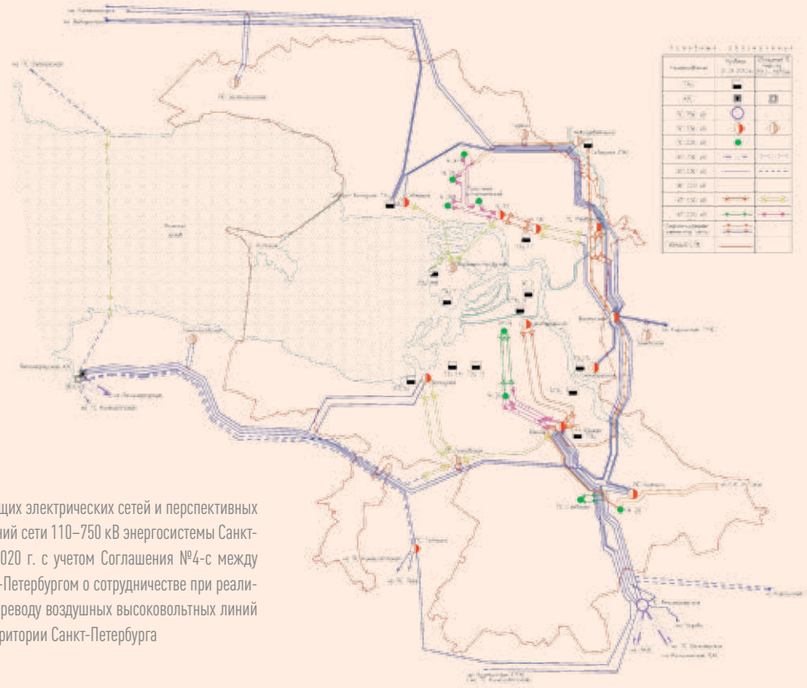
Таким образом, для дальнейшего развития энергосистемы Санкт-Петербурга с целью обеспечения таких факторов, как эксплуатационная надежность, живучесть, соответствие существующей нормативной базе, современным требованиям и т.д.,

ИНФОРМАЦИЯ

ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

- развитие сети 330 кВ;
- строительство подстанций глубокого ввода;
- снижение потерь электроэнергии путем перевода сетей 6 кВ на напряжение 10 кВ, 35 кВ – на напряжение 110 кВ;
- развитие сети 35 кВ признано экономически нецелесообразным;
- перевод воздушных линий в кабельное исполнение – «каблирование» с целью высвобождения территорий;
- преодоление старения основных фондов электрических сетей и электросетевого оборудования за счет увеличения масштабов работ по их реконструкции и техническому перевооружению (модернизация подстанций, реконструкция высоковольтных линий электропередачи, модернизация и развитие информационной инфраструктуры);
- техническое перевооружение на базе ввода в эксплуатацию высокоэффективного электрогенерирующего оборудования.

КАРТА-СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 220 КВ И ВЫШЕ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ НА 2020 Г.



Карта-схема существующих электрических сетей и перспективных электрических соединений сети 110–750 кВ энергосистемы Санкт-Петербурга на уровне 2020 г. с учетом Соглашения №4-с между ОАО «ФСК ЕЭС» и Санкт-Петербургом о сотрудничестве при реализации Программы по переводу воздушных высоковольтных линий электропередачи на территории Санкт-Петербурга

Рис. 1

необходимо в первую очередь рассмотреть вопрос о переустройстве всех существующих ВЛ 35 кВ и выше в кабельное исполнение и строительстве новых КЛ. При этом необходимо найти наиболее оптимальный вариант развития энергосистемы.

Практика проектирования сетевых объектов для мегаполисов показывает, что в большинстве случаев сама возможность возведения новых или реконструкции существующих электросетевых объектов определяется исключительно применением относительно новых типов оборудования, таких как комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией, кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена, сухие токоограничивающие реакторы, фазоповоротные устройства, управляемые шунтирующие реакторы и т.д.

ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В МЕГАПОЛИСАХ

Основными задачами развития энергосистем в мегаполисах являются:

– повышение управляемости, надежности энергосистемы, снижение рисков, сопутствующих основной деятельности электросетевых компаний, за счет применения различных технических систем (ФПУ, ФТК, 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 статических компенсаторов реактивной мощности (СКРМ), расположенных в непосредственной близости от нагрузки;
– снижение потребления электроэнергии в пиковых нагрузках за счет создания технической системы, воздействующей на статические характеристики нагрузки (сокращение использования энергоресурсов при сохранении качества электроэнергии);
– общее снижение потребления энергоресурсов;
– снижение эксплуатационных издержек сетевых и генерирующих компаний за счет уменьшения потерь мощности и увеличения надежности и живучести энергосистемы.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ

Вариант	Длина ВЛ, км	Площадь высвобождаемых участков, га	Стоимость высвобождаемых участков, млн руб.	Длина КЛ, км	Зарядная мощность, Мвар	Мощность реакторов, Мвар	Стоимость КЛ, млн руб.	Стоимость компенсации реактивной мощности, млн руб.	Рентабельность, %
1	1 187	2 716,56	129 517,43	1 617,6	5 058,96	4 005,50	114 014,39	5 327,50	8,5
2				1 514	4 641,60	3 629,88	106 633,32*	4 079,23	17,0

* – с учетом стоимости строительства двух ПС 330 кВ.

Таблица 1

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПРОКЛАДКЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Обычно сети мегаполисов являются смешанными, т.е. такими, в которых наряду с воздушными линиями ВН и СВН существует значительное количество кабельных напряжений. При внедрении нового оборудования в сети возникают определенные явления, которых не было ранее. Причинами этого являются конструктивные особенности, вносящие в систему новые электрические параметры внедряемого оборудования.

На рис. 1 приведена карта-схема существующих и планируемых электрических сетей 110–750 кВ энергосистемы Санкт-Петербурга (прогноз для 2020 г.).

Как известно, в результате системных аварий, связанных с выходом из строя нового оборудования, нарушается электроснабжение потребителей. Устранение таких аварий требует значительных временных и материальных затрат. Для того чтобы предотвращать системные аварии, связанные с выходом из строя нового оборудования, необходимо обладать точной информацией о влиянии этого оборудования на режимы функционирования энергосистем, возможности перераспределения потоков мощности в сети, о соответствии режимов напряжения в узлах сети нормам и т.д. Такая информация может быть получена на основе тщательного комплексного анализа всей энергосистемы мегаполиса.

В смешанных электрических сетях, использующих КРУЭ, КЛ ВН и СВН, возникают следующие задачи, решение которых в значительной степени определяет надежность энергосистемы в целом:

– регулирование перетоков мощности в том или ином сечении между параллельными КЛ и ВЛ для устранения их перегрузок (наиболее дешевым способом достижения этой цели является установка нерегулируемого сухого токоограничивающего реактора последовательно с КЛ для выравнивания сопротивления между КЛ и ВЛ);
– так как в системообразующей сети присутствует значительная генерация реактивной мощности КЛ, то особое внимание должно быть уделено регулированию напряжений в узлах такой сети;
– устранение резонансных перенапряжений в контуре, состоящем из поперечной емкости КЛ и КРУЭ и индуктивности ШР и ТОР, обладающих значительной добротностью ввиду малых потерь, свойственных современному оборудованию;
– ограничение воздействия ВЧ-перенапряжений,

КАРТА-СХЕМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ИЛЛЮСТРАЦИЕЙ ОБЪЕМОВ ДЕМОНТАЖА СУЩЕСТВУЮЩИХ ВЛ ПО ВТОРОМУ ВАРИАНТУ С УЧЕТОМ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОГЛАШЕНИЯ №4-С МЕЖДУ ОАО «ФСК ЕЭС» И САНКТ-ПЕТЕРБУРГОМ

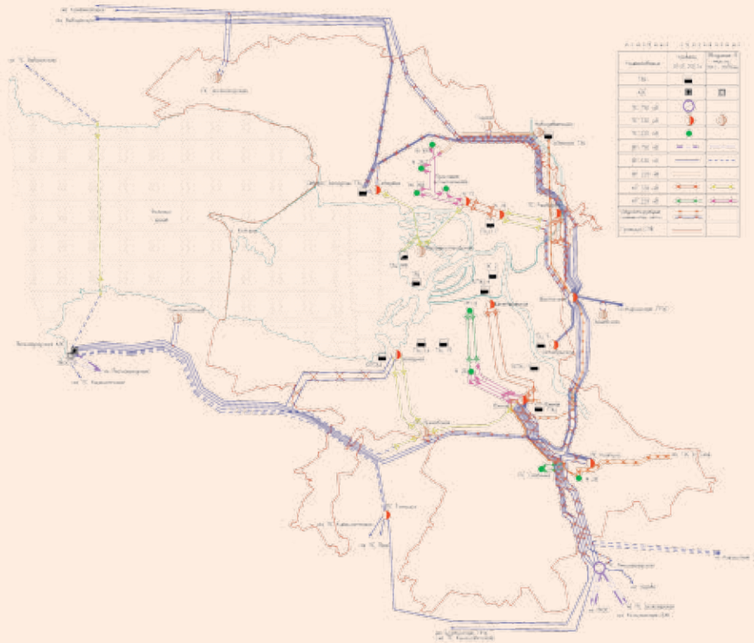


Рис. 2

возникающих при коммутациях внутри КРУЭ, на изоляцию АТ, Т, ТН и другое оборудование, установленное вблизи КРУЭ;
– определение оптимальных параметров КЛ, их пропускной способности в зависимости от условий и способов прокладки, т.е. сечения токопроводящих жил и экранов, способов заземления экранов;
– ограничение уровней токов КЗ;
– регулирование потоков мощности по контролируемым сечениям в режиме реального времени.

Для обеспечения максимального уровня надежности и минимизации капитальных и эксплуатационных затрат все перечисленные проблемы должны решаться комплексно на основе системного подхода к организации архитектуры энергосистемы при реконструкции существующих ВЛ с целью перевода их в кабельное исполнение.

ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Развитие сети 110–330 кВ в энергосистеме Санкт-Петербурга возможно в рамках различных вариантов исполнения. В данной статье рассматриваются и оцениваются эти варианты на основе анализа возможных схем и расчетов всевозможных режимов работы энергосистемы. Анализ был проделан с учетом переустройства воздушных линий электропередачи в кабельное исполнение и строительства новых кабельных линий.

Были рассмотрены различные конфигурации для двух основных вариантов:

1. Перевод всех существующих ВЛ 35–330 кВ в кабельное исполнение с сохранением существующей конфигурации системы.

КАРТА-СХЕМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПО ВОЗМОЖНОМУ АЛЬТЕРНАТИВНОМУ ВАРИАНТУ

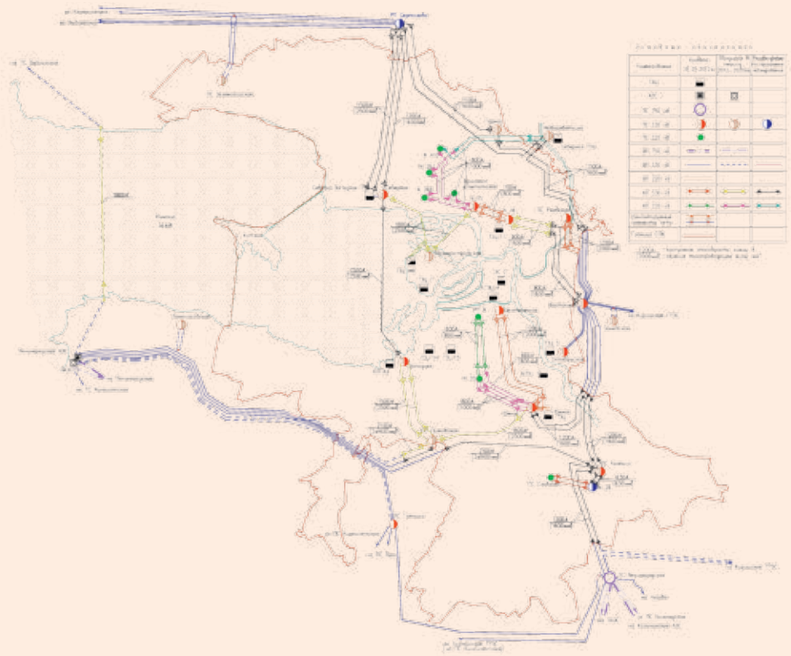


Рис. 3

2. Перевод всех существующих ВЛ 35–330 кВ в кабельное исполнение с определением оптимальной конфигурации высоковольтной системообразующей сети, позволяющей обеспечить: а) нормативные показатели живучести энергосистемы; б) эксплуатационную надежность; в) исключение из сети части избыточных воздушных линий, проходящих через город; г) в случае необходимости строительство новых распределительных пунктов (подстанций).

Ниже рассмотрена возможная конфигурация системы по второму варианту (то есть оптимизация сети) при переводе воздушных линий 110 кВ и выше в кабельное исполнение и приведены основные этапы реализации этой конфигурации. Поэтапный ввод объектов для реализации этого варианта:

1 ЭТАП

– Строительство запланированной передачи постоянного тока ±1000 МВт ЛАЭС-2 – Выборг;
– строительство запланированной ПС 330 кВ «Василеостровская» с замыканием кольца 330 кВ в городе;
– строительство запланированной ПС 330 кВ «Пулковская»;
– строительство запланированной двухцепной КЛ 330 кВ «Пулковская–Западная»;
– строительство подводной КЛ 330 кВ «Западная–Северная» и, как следствие, замыкание кольца 330 кВ вокруг города;
– установка на ВЛ 330 кВ «Западная–Северная» устройства регулирования перетока (ФПУ) в кольце 330 кВ вокруг города.

2 ЭТАП

– Перевод в кабельное исполнение основной сети северных районов города в рамках полученной оптимальной схемы:
– строительство РП 330 кВ «Сертолово»;

- строительство трех параллельных КЛ 330 кВ «Северная» – РП «Сертолово»;
- перевод в кабельное исполнение участков высоковольтных линий 330 кВ от ПС 330 кВ «Парнас» до РП «Сертолово»;
- перезаводка четырех «выборгских» линий на РП «Сертолово»;
- демонтаж двух ВЛ 330 кВ «Восточная–Северная» (С.-З. ТЭЦ).

3 ЭТАП

Перевод в кабельное исполнение основной сети южных районов города в рамках полученной оптимальной схемы:

- перевод в кабельное исполнение участков двухцепной ВЛ 330 кВ «Колпино–Восточная» от ПС 330 кВ «Колпино» до границы города;
- перевод в кабельное исполнение участков двухцепной ВЛ 330 кВ «Колпино–Ленинградская» от ПС 330 кВ «Колпино» до границы города;
- перезаводка ВЛ 330 кВ ЛАЭС–«Восточная» на ПС 330 кВ «Колпино» с сооружением кабельного захода на 9 км по территории города;
- перевод в кабельное исполнение участка ВЛ 330 кВ «Восточная–Южная» от ПС 330 кВ «Южная», проходящего по территории города;
- сооружение захода участка ВЛ 330 кВ ЛАЭС–«Восточная» от ПС 330 кВ «Восточная» на ПС 330 кВ «Южная» с помощью кабельного участка 330 кВ от ПС 330 кВ «Южная» до границы города;
- демонтаж ВЛ 330 кВ «Пулковская–Южная»;
- сооружение ВЛ 330 кВ «Гатчинская–Ленинградская» путем пересоединения ВЛ 330 кВ «Ленинградская–Южная» и ВЛ 330 кВ «Гатчинская–Южная». Участки от места пересоединения до ПС 330 кВ «Южная» рекомендуется демонтировать;
- две ВЛ 330 кВ «Ленинградская–Южная» рекомендуется демонтировать.

Ликвидация сети 220 кВ южных районов города:

- перевод ПС 220 кВ «Колпинская» на напряжение 330 кВ;
- сооружение двухцепного кабельного захода 330 кВ «Колпино–Колпинская»;
- перевод потребительской ПС 220 кВ «Славянка» на напряжение 110 кВ.

Расчеты электрических режимов оптимальных вариантов развития сети по второму варианту были выполнены с помощью программного комплекса RastrWin. Расчеты показали, что сформированная таким образом системообразующая сеть удовлетворяет требованиям надежности энергосистем в соответствии с Методическими рекомендациями по устойчивости энергосистем.

Карты-схемы перспективных электрических соединений сети 110–750 кВ энергосистемы Санкт-Петербурга для 2020 г. по рассматриваемым вариантам приведены на рис. 2 и 3. Технико-экономическое сравнение рассмотренных вариантов представлено в таблице 1.

Следует отметить, что выбор второго варианта позволит снизить также затраты на техническое обслуживание и ремонт кабельных линий на 8%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно из таблицы и рисунков, второй вариант развития сети 110–330 кВ энергосистемы Санкт-Петербурга обладает явными технико-экономическими преимуществами по сравнению с первым. Причем стоимость КЛ у второго варианта меньше.

В ходе выполнения данного проекта были выявлены основные закономерности: из сравнения в рамках системного подхода двух предлагаемых альтернативных вариантов развития энергосистемы получено, что второй вариант обеспечивает: а) минимум затрат для развития энергосистемы Санкт-Петербурга (включая эксплуатационные затраты); б) нормативный уровень надежности эксплуатации; в) перевод всех существующих ВЛ 35–330 кВ в кабельное исполнение и строительство новых КЛ.

Было установлено, что стоимости реализации рассмотренных вариантов различаются: оценочно разница находится в интервале от 5 до 15%. Следует подчеркнуть, что, учитывая общую величину стоимости реализации каждого варианта развития энергосистемы, достижение верхней границы указанного интервала позволяет существенно сэкономить затраты заказчика (десятки миллиардов рублей) на развитие энергосистемы.

Для любых вариантов реализации необходимо решать вопросы, связанные с: а) ограничением токов КЗ; б) компенсацией избыточной реактивной мощности, для обеспечения нормативного уровня напряжений в узлах сети путем установки соответствующих СКРМ с установленной мощностью от 3,5 тыс. Мвар до 4 тыс. Мвар (ШР, УШР, СТК и т.д.); в) определением мест (и нужного количества) установки СКРМ; г) регулированием потоков мощности в системе (ФПУ, ТОР и т.д.); д) определением трасс прокладки новых КЛ в условиях городской застройки и т.д.

Решение этих проблем требует комплексного подхода к анализу состояния всей энергосистемы. Отметим, что для различных вариантов степень «тяжести» этих вопросов различна.

Отличительной особенностью развития энергосистемы мегаполисов является необходимость комплексного подхода к решению проблемы интеллектуализации сети. Целесообразно рассматривать весь процесс производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии как единое целое, а не по границам балансовой принадлежности, как обычно происходит в последнее время. Соответственно, поэтапное введение автоматического управления повысит надежность работы всей энергосистемы. Кроме того, это повысит качество электроснабжения потребителей и в некоторой степени уменьшит необходимость их отключения в аварийных режимах.

Рассмотренные в данной статье варианты подразумевают переконфигурацию в автоматическом режиме для минимизации затрат энергоресурсов при сохранении необходимого уровня надежности работы.

При решении указанных выше задач необходимо внедрить в энергосистему следующие системы и устройства:

- управляемые устройства КРМ;
- управляемые устройства регулирования потоков активной мощности;
- новейшие конструкции регуляторов под нагрузкой;
- автоматизированную систему управления сетью.

Предварительные расчеты вариантов перспективного развития энергосистемы Санкт-Петербурга показывают, что в результате внедрения автоматической системы поддержания напряжения 112-113 кВ в сети 110 кВ в зимний период будет получено снижение потребления активной мощности энергосистемы на 136 МВт в часы максимальных нагрузок и на 67 МВт – при минимальных нагрузках. Такое снижение достигается по двум причинам:
1) за счет уменьшения потребления активной мощности при снижении напряжения в соответствии со статическими характеристиками нагрузки; 2) за счет уменьшения потерь в энергосистеме. Прогнозируемое число часов максимальной нагрузки в энергосистеме Санкт-Петербурга и Ленинградской области на 2016 г. составит 5 924 ч/год. Соответственно, прогнозируемая экономия электроэнергии в 2016 г. (с учетом прогнозируемой балансовой ситуации) будет 805,6 млн кВт•ч/год.

Помимо этого, в связи с установкой СКРМ на подстанциях 110 кВ автотрансформаторы 110–330 кВ освобождаются от транзитных перетоков реактивной мощности и, как следствие, загружаются. При реализации предлагаемых вариантов возможно разгрузить автотрансформаторы основных системообразующих подстанций суммарно на 465 МВА полной мощности. Этот запас мощности можно будет использовать для присоединения новых потребителей к энергосистеме без необходимости строительства дополнительных сетевых элементов, таких как строительство новых ПС, линий и ввод дополнительных трансформаторных мощностей.

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 г. Санкт-Петербурга №728-99 от 22 декабря 2005 г. «О Генеральном плане и границах зон охраны культурного наследия на территории Санкт-Петербурга» (ред. 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 территории Санкт-Петербурга. ■

ИНФОРМАЦИЯ

ЭНЕРГОСИСТЕМА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

- 15 ТЭЦ;
- 28177 км электрических сетей;
- 9301 трансформаторных подстанций.

Электроснабжение потребителей, расположенных на территории Санкт-Петербурга, осуществляется энергосистемой Северной столицы и Ленинградской области, которая является единым технологическим объектом, включающим совокупность объектов генерации электрической энергии, объектов электросетевого хозяйства и энергопринимающих устройств потребителей. Энергосистема Санкт-Петербурга и Ленинградской области является частью объединенной энергосистемы Северо-Запада, в которую также входят энергосистемы Мурманской, Новгородской, Псковской, Архангельской и Калининградской областей, Республики Карелия и Республики Коми.