



# ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ

**Проблемы электроснабжения крупных  
городов и мегаполисов**



Уже в прошлом веке с развитием цивилизации электроэнергетика все больше становилась инфраструктурной отраслью, определяя многие стороны существования развитого социума человеческого общества.

С особой наглядностью это проявляется в жизни современных городов. Энергопотребление и особенно электропотребление становятся в один ряд с водопотреблением, потреблением воздуха и солнечного света.

Города классифицируются в соответствии с численностью населения (тыс. чел.) следующим образом:

- **крупнейшие** — свыше 500, вплоть до мегаполисов (миллионников);
- **крупные** — от 250 до 500.



За последние годы темпы роста городского населения России существенно возросли.

Крупнейшие и крупные города характеризуются высокой плотностью электрических нагрузок — до 20—30 МВА/км<sup>2</sup> в центральных районах города (З) и большим количеством разнотипных потребителей, расположенных на ограниченной территории.

Многие электроприемники относятся к первой категории, причем число таких приемников постоянно растет.

К традиционным потребителям первой категории теперь добавились также вычислительные комплексы крупных банков, федеральные организации, крупнейшие магазины и др.



Крупные города и мегаполисы, как места массового пребывания людей, концентрации промышленности, центров управления всеми видами жизнедеятельности и коммуникациями, имеют развитую и энергоемкую систему жизнеобеспечения, которая включает централизованное электро- и теплоснабжение, котельные, инженерные газовые сети, сети водопровода и канализации, городского автодорожного и рельсового транспорта, вокзалы и железные дороги, аэропорты, связь, телевидение и радио, больницы, детские учреждения, школы и другие учебные заведения, магазины, учреждения культуры и общепита, а в мегаполисах — метро, высотные здания с лифтами и другими системами жизнеобеспечения.



Нарушение электроснабжения городов и промышленных центров сопровождается опасными для жизни и здоровья людей последствиями.

Так, авария в Москве 23—26 мая 2005 года, несмотря на конец отопительного сезона, принесла колоссальные убытки — официально до 2 млрд руб. Остановились многие предприятия в Московской, Рязанской, Калужской и Тульской областях.

Был парализован весь транспорт столичного мегаполиса. Не работало не только метро, перевозящее основную массу пассажиров, но и нарушилось движение автомобильного транспорта, так как не работали светофоры, бензоколонки. «Замерли» водопровод, горячее водоснабжение, канализация, поскольку насосы этих устройств имеют электрический привод. Остановились лифты. Городская жизнь фактически была парализована.



Хорошо еще, что в Москве не вошли в массовый обиход электронные замки и запоры квартир. Иначе москвичи не смогли бы попасть в свои квартиры. Так было в Нью-Йорке 8—9 ноября 1965 года. Жильцы спали на половичках у дверей своих квартир.

В 2005 г. в Москве испытывали колоссальные трудности больницы, культурно-массовые учреждения. Не работали предприятия торговли. Производства не выполнили план по выпуску продукции. Анализ аварий в Нью-Йорке и Москве позволил сделать вывод о том, что ущерб от нарушения их электроснабжения намного превышает затраты на их предотвращение.



На современном этапе требуется существенное повышение надежности электроснабжения крупных городов в связи с массовой многоэтажной застройкой как административных, так и жилых районов города, возрастающей электрификацией бытовой и коммунальной сфер, ростом категорийности электроприемников.

Анализируя современные тенденции развития коммунально-бытовых и производственных процессов в городах, следует обратить внимание на то, что надежность их электроснабжения должна рассматриваться как комплексное свойство, состоящее из таких актуальных для городов свойств, как безопасность, живучесть и безотказность.



Очевидно, что безотказность на уровне абсолютно бесперебойного электроснабжения всех районов мегаполисов обеспечить невозможно. Поэтому отдельные кратковременные погашения части электроприемников неизбежны из-за коротких замыканий и других случайных отказов энергооборудования. От таких отказов электроприемники высокой категории должны иметь индивидуальную защиту и резервирование.



# ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Основные проблемы энергоснабжения городов связаны с живучестью и безопасностью.

Под живучестью понимается способность системы энергоснабжения противостоять массовым отключениям потребителей на большой территории и на длительное время.

Актуальным является также и безопасность, характеризующаяся экологической, социальной и техногенной защищенностью населения и окружающей среды.



Для России проблема электроснабжения больших городов имеет особую значимость, поскольку часть ее территории находится в суровых климатических зонах.

Пиковые нагрузки приходятся на зимний период, когда выживание людей и функционирование промышленных предприятий определяется электро- и теплоснабжением.

Следует особо отметить, что и теплоснабжение населенных пунктов также зависит от электроснабжения, поскольку осуществляется от большого количества электрокотельных.

Причем котельные на твердом топливе также зависят от снабжения их электричеством.



По мнению некоторых специалистов, рассматриваемая проблема до 2030 года может трансформироваться в связи с тем, что в России «...рост душевой обеспеченности жильем и автомобилями, дальнейший прогресс информационных технологий, расширяющих возможность работы на дому, и наличие свободных земель изменит тип расселения людей.

Их концентрация в крупных городах сменится коттеджным расселением на больших окрестных территориях с размещением в прежних городах способами точечной застройки преимущественно госучреждений, офисов, компаний, гостиниц, культурных и финансовых организаций.

A vertical strip on the left side of the slide shows a nighttime cityscape with illuminated buildings and streets. Overlaid on this image are several overlapping, semi-transparent white circles of varying sizes, creating a decorative graphic element.

В РФ на основе современных городов-миллионников сложится до десятка таких агломераций (Московская агломерация может достигнуть численности 25—30 млн чел.).

Наряду с этим появятся города с населением 100—200 тыс. чел. в районах размещения новой индустрии, но исчезнут многие старые мелкие города и поселки городского типа (ПГТ)».

Следует заметить, что концепция рассредоточенной застройки городов была принята еще в советское время и интенсивно реализуется в новых условиях.



Поэтому проблема надежного энергоснабжения современных крупных городов, а также мегаполисов в перспективе требует повышенного внимания.

Должны быть разработаны и реализованы специальные меры в области надежности систем их энергоснабжения, которые будут адекватны возможной тяжести последствий от нарушения энергоснабжения систем жизнеобеспечения.

Учитывая природно-климатические условия России, достаточное разнообразие регионов в экономическом, социальном и энергетическом плане, такие требования должны быть значительно более жесткими в сравнении с зарубежными, которые к тому же, как показывает практика, имеют существенные изъяны.

На стадии планирования допустимых режимов следует принимать во внимание более тяжелые расчетные возмущения (потеря подстанции, электростанции, кабельного коллектора и т.п.).



Высокая плотность застройки, стесненные условия для прокладки ЛЭП и выбора площадок под подстанции, повышенные архитектурно-эстетические требования диктуют необходимость применения особых схем и оборудования систем электроснабжения (закрытых подстанций, многоцепных воздушных линий, кабельных линий высокого и сверхвысокого напряжения и т.п.).

Надежность и эффективность энергоснабжения крупных населенных и промышленных агломератов должны обеспечиваться по следующим направлениям и в соответствующих объемах.



## ВНЕШНЕЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Энергопотребление современных мегаполисов настолько велико, что только за редкими исключениями может быть обеспечено источниками производства электро- и тепло-энергии, расположенными на их территории. Электроснабжение крупных промышленных центров и городов в значительной степени осуществляется от внешних источников через опорные питающие подстанции.



Схема внешнего электроснабжения крупного агломерата должна включать в себя не менее 3—4 питающих подстанций высокого напряжения (220 кВ и выше) большой трансформаторной мощности (20—25% от максимума нагрузки агломерата для каждой подстанции).

Питающие подстанции целесообразно размещать равномерно по периметру в пригородной зоне города, объединяя их с помощью ЛЭП в единое кольцо.

Рекомендуется также от этих подстанций делать по направлению к центру города или отдельным предприятиям так называемые глубокие вводы на высоком напряжении (220 кВ и выше).



Сегодня за рубежом принято глубокие вводы выполнять в подземных обслуживаемых кабельных туннелях.

Выполненная таким образом схема внешнего электроснабжения характеризуется высоким уровнем резервирования и режимной гибкости в эксплуатационных условиях.



Для сверхмегаполисов типа Москвы, Санкт-Петербурга и других можно создавать два и более колец электропитающей системы.

Важное требование электроснабжения крупных городов — избегать пропуска больших транзитных потоков мощности по внутренним городским сетям.

Должны решаться также задачи ограничения токов короткого замыкания.

Для развития энергетической инфраструктуры в городском хозяйстве должны предусматриваться отвод и резервирование необходимых территорий, что является в современных условиях одной из самых острых проблем крупных городов.

В результате создаваемая система внешнего электроснабжения города должна иметь высокую степень гарантии ее надежности.

# ВНУТРЕННИЕ ИСТОЧНИКИ ГЕНЕРАТОРНОЙ МОЩНОСТИ И СЕТИ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Сооружение электростанций на территории города — необходимая мера на случай нарушения внешнего электроснабжения. Рекомендуется таких источников достаточной мощности (10—15% каждый от максимума электрической нагрузки агломерата) иметь не менее трех.





Определяющим при выборе источников энергоснабжения для отдельных микрорайонов крупных городов и районов новой застройки жилищных комплексов уже сегодня становятся низкие удельные выбросы загрязняющих веществ, компактность установки, увеличенный КПД.

В связи с тем, что территории многих областей России находятся в зоне низких температур в холодное время года, в качестве электростанций наиболее эффективны ТЭЦ, обеспечивающие комбинированную выработку электроэнергии и тепла.



Использование ТЭЦ в качестве источников электроэнергии связано с проблемами согласования объемов выработки тепла и электричества.

Концентрация производства тепла на ТЭЦ приводит к централизованной системе теплоснабжения, а комбинированная выработка — к сильной взаимозависимости режимов теплоснабжения и электроснабжения.

ТЭЦ должна иметь гарантированный сбыт (потребление) электроэнергии, без производства которой ТЭЦ не сможет эффективно вырабатывать тепловую энергию.



С другой стороны, при потере источников тепла его возмещение производится населением стихийно за счет электрической энергии, что может привести к перегрузке и повреждениям электрической сети.

Сброс электрической нагрузки, в свою очередь, может привести к дальнейшему снижению тепловой мощности.

Поэтому необходимо предусматривать резервирование выработки тепла от децентрализованных (автономных) источников, получение тепла в аварийных ситуациях от тепловых сетей соседних районов.



Сети внутреннего электроснабжения (питающие и распределительные) выполняются, как правило, линиями напряжением 10 кВ и ниже.

И только в отдельных случаях, как уже отмечалось, применяются глубокие вводы 220 кВ и выше в центр города, которые также относятся к сетям внутреннего электроснабжения.

Распределительные городские сети выполняются на напряжении 10 или 20 кВ.

Напряжения 6 и 35 кВ к применению в городских сетях не рекомендуются по технико-экономическим соображениям.



Выбор схемы электроснабжающей сети зависит от конкретных условий: географического положения и размещения селитебной территории города; плотности нагрузок и темпов их роста; количества и характеристик источников питания; исторически сложившейся существующей схемы сети и др.

Пропускная способность сети должна обеспечивать перетоки мощности в нормальных и послеаварийных режимах при отключении отдельных элементов сети, то есть должен обеспечиваться как минимум критерий ( $n - 1$ ).

Конфигурация и параметры городских сетей должны выбираться с учетом требований нормативно-технической документации.



# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СТРУКТУР ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Данные требования направлены на предотвращение и оперативную ликвидацию опасных последствий внезапного нарушения электроснабжения основных объектов городской и промышленной инфраструктуры:

- систем теплоснабжения, как централизованного, так и децентрализованного, в отопительный период;
- систем водоснабжения и канализации, иных гидротехнических сооружений;
- систем наземного, подземного и воздушного транспорта и систем управления их движением;
- больниц, родильных домов и учреждений дошкольного воспитания и школьного образования;
- систем связи, телевидения и радио;
- зданий высотой более 75 м.



## **К таким требованиям следует отнести:**

- устойчивость объектов электроснабжения от кратковременных (от долей до нескольких секунд) погашений, вызванных работой автоматических и защитных устройств энергосистем;
- обеспечение объектов источниками аварийного электро- и теплоснабжения по нормам технологической и аварийной брони; гарантированное их включение в работу при первой необходимости; оснащение указанных источников топливом в необходимом объеме и квалифицированном обслуживании;
- наличие готовых к работе передвижных электростанций, подстанций и резервных трансформаторов для использования их при крупных нарушениях электроснабжения и в иных чрезвычайных ситуациях. Количество, мощность источников и запасы топлива к ним должны быть в достаточных объемах;



- относительно высотных зданий (небоскребов свыше 20—30 этажей), возможно размещение в цокольных этажах собственных мини-электростанций с соответствующим запасом топлива. Такая практика имеется за рубежом, например, в Токио. Возможно даже рассмотрение атомных источников энергии высокой степени радиационной безопасности;

- оснащенность населения как на рабочих местах, так и в быту индивидуальными источниками освещения, обогрева, приготовления пищи, транспорта, связи, гигиены, защиты. В коттеджах — генерирующие агрегаты мощностью от 10 до 50 кВт с запасами соответствующего топлива.



# ОРГАНИЗАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Субъекты электроэнергетики вправе создавать собственные органы, координирующие взаимодействие при возникновении или угрозе возникновения нарушения электроснабжения населенных пунктов.

С момента принятия Системным оператором решения об объявлении режима высоких рисков на соответствующей территории эти органы субъектов электроэнергетики и муниципалитета мобилизуются максимально быстро (не позднее 0,5—1 часа).

При принятии решений во время режима высоких рисков органы руководствуются исключительным приоритетом безопасности, живучести и восстанавливаемости объектов электроэнергетики и потребителей перед договорными обязательствами и экономическими преференциями.

Требования по надежности должны носить не рекомендательный, а обязательный, предписывающий характер.



Органы местного управления городов, субъекты электроэнергетики, потребители с целью предотвращения нарушения электроснабжения и ликвидации последствий нарушения обеспечивают:

- проектирование схем электроснабжения города, которое должно выполняться с выявлением очередности развития на срок не менее 10 лет с учетом генеральных планов развития городов, которые выполняются на перспективу 25—30 лет;
- проектирование систем электроснабжения городов с резервированием (с учетом внешнего и внутреннего электроснабжения) в размере не менее 10% от максимальной нагрузки, предусмотренной имеющимися планами перспективного развития городского хозяйства. При этом следует предусматривать достаточную пропускную способность электрических сетей всех уровней с учетом необходимого резервирования;

- 
- разработку и реализацию в пределах своей компетенции планов по предотвращению и ликвидации нарушений электроснабжения города;
  - прогнозирование рисков, сравнение их с приемлемым риском и обоснование мер для их (рисков) снижения (предупреждения и/или смягчения негативных последствий аварий) — основа управления надежностью любого объекта на всех этапах его жизненного цикла;
  - обучение оперативного и ремонтного персонала коммунальных служб городского хозяйства и специализированных организаций, выполняющих на договорных условиях обслуживание различных видов энергетического оборудования;
  - подготовку схем и средств оповещения и информирования населения и организаций.



Субъекты электроэнергетики должны иметь планы и инструкции по реализации противоаварийных мероприятий, направленных на предотвращение развития и ликвидацию нарушений электроснабжения крупных объектов городской инфраструктуры, а также на восстановление их нормального функционирования.

Указанные планы и инструкции должны пересматриваться по мере необходимости, но не реже одного раза в год.

В целом, должна быть разработана совокупность мер, исключающих полное прекращение электро- и теплоснабжения не только города, но и какого-либо его района, особенно крупного, на время, превышающее допустимую величину, заранее определенную в зависимости от температуры наружного воздуха.



Надежность электроснабжения систем жизнеобеспечения населенных пунктов должна быть предметом специальных исследований и разработок на основе комплексных проектно-технических решений под руководством региональной администрации.

Для этого в составе муниципальных органов власти необходима структура, организующая разработку комплексных региональных программ энергоснабжения и несущая ответственность за обеспечение надежности энергоснабжения, адекватное развитие системы электроснабжения на перспективу.



Главной задачей указанной структуры на современном этапе должно стать решение проблемы катастрофического износа электро- и теплооборудования, а в дальнейшем — недопущение такого износа.

Для этого следует предусмотреть постоянное проведение работ по обновлению изношенного оборудования, его модернизации, реконструкции, техпереворужению и замене.

Одновременно субъекты энергоснабжающей системы призваны обеспечивать высокий уровень технического обслуживания оборудования, его ремонт, диагностирование состояния, внедрение автоматики, достаточность и высокую квалификацию обслуживающего персонала, оснащенность его необходимыми приспособлениями, инструментами, транспортными средствами и т.п.



Технический персонал должен своевременно производить обходы, осмотры, испытания оборудования, следить за режимами работы системы, не допуская перегрузки отдельных элементов, повышать свою квалификацию и производительность труда.

Население городов должно постоянно информироваться о состоянии городского электроснабжения через СМИ, своевременно предупреждаться о грозящих нарушениях.

Соответствующие структуры обязаны оперативно доводить до людей способы рационального поведения при наступлении чрезвычайных ситуаций, связанных с глубокими и длительными нарушениями электроснабжения.



Необходимо принять нормативы, стандарты и регламенты всех уровней — от федерального до организации, учитывающие изложенные выше требования к надежности электроснабжения городов.

Нормативно-правовая база всех уровней должна предотвращать стремление некоторых субъектов рынка электроэнергетики (так называемых спекулятивных собственников) экономить на мероприятиях по снижению аварийности и обеспечению надежности.

Она призвана стимулировать необходимость соблюдения норм по резервам генераторных мощностей, пропускной способности электрических сетей, их устойчивости и живучести.



При этом надо иметь в виду, что возможности по обеспечению эффективности и надежности электроснабжения закладываются на этапах планирования, проектирования и сооружения объектов электроэнергетики. Задача же эксплуатации заключается в реализации и поддержании уровней эффективности и надежности, потенциально-заложенных при управлении развитием региональных энергосистем.



Определяющей составляющей системы управления надежностью является ресурсное обеспечение.

Оно включает в себя материально-техническое, финансовое, кадровое и научно-методическое.

В современных российских условиях настоятельно требуется сохранить, а возможно, и усилить координацию оперативно-диспетчерского управления режимами электро- и теплоснабжения городов, промышленных агломератов, административных и технологических субъектов управления энергопредприятиями



# ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

## ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ БОЛЬШИХ ГОРОДОВ

Изложенные выше принципы и средства обеспечения надежного и эффективного энергоснабжения городов являются традиционными.

Однако в настоящее время в условиях развития информационных технологий и инновационной экономики перспективной базой в энергетике становится интеллектуализация технологического оборудования, объектов, систем энергетики и управления ими.



Сегодня, и в частности в России, исследуются и формируются новые концептуальные положения развития электроэнергетики, соответствующие новым целям и тенденциям функционирования с использованием современных методов и средств управления, оборудования и технологий.

Новая концепция управления, получившая название за рубежом «умной» (Smart Grids), а в России — интеллектуальной системы, является логическим следствием эволюционного развития энергетической техники и технологий в формирующемся информационном и предполагаемом в будущем универсальном типе общественного производства.



Стратегическая цель создания интеллектуальных систем энергоснабжения крупных городов и мегаполисов состоит в возможности ведения наиболее надежного, безопасного и экономически эффективного режима работы системы в любой реальный момент времени и при любых меняющихся внешних и внутренних условиях ее функционирования.



Основные положения программы инновационного интеллектуально-технологического развития отечественной электроэнергетики заключаются в следующем:

- переоценка традиционных современных энергетических технологий с позиций прогрессивных информационных инноваций, глобальной автоматизации и роботизации процессов управления;
- широкое и глубокое диагностирование оборудования, мониторинг состояния оборудования и систем;
- постепенное превращение управляемых объектов и окружающей их среды в «цифровую реальность», регулируемую интеллектуальными ресурсами, в том числе и искусственным интеллектом.



# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЕРСОНАЛА СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

В области обеспечения высокой эффективности профессиональной деятельности необходимы разработка и внедрение эффективной методики подбора и подготовки кадров, создание субъектами энергоснабжения собственных систем профессиональной подготовки, переподготовки, поддержания и повышения квалификации персонала, разработка методического и правового обеспечения системы подготовки и аттестации персонала, совершенствование и внедрение программных средств обучения и тестирования знаний.



Важным аспектом подготовки оперативного персонала является психофизическая тренировка, а современным инструментом — полномасштабные тренажеры, воспроизводящие характеристики объекта управления и штатный оперативный человеко-машинный интерфейс.

В новых условиях необходимо предусмотреть проведение совместных противоаварийных тренировок оперативного персонала разных субъектов.

Предстоит пересмотр действующих правил, инструкций, методических указаний по надежной и безопасной организации управления, эксплуатации, обслуживания, ремонта, строительства, монтажа и наладки энергооборудования и энергообъектов.



Актуально также разработать и реализовать действия по обеспечению привлекательности электроэнергетических профессий.

Судя по зарубежному опыту, большое значение имеет «энергетическое» воспитание населения, особенно в части энергосбережения и поведения в аварийных состояниях.

Должна быть продумана система мотивирования граждан, организаций и предприятий по экономии электроэнергии и обеспеченности автономными источниками света и тепла (фонарики, газовые плитки, керосинки и пр.) при форс-мажорных событиях.

Разработаны соответствующие образовательные программы для дошкольных и школьных учреждений, средних и высших учебных заведений



Управление интеллектуальными энергосистемами требует высочайшей квалификации персонала и строжайшего соблюдения технологической дисциплины.

Повышение квалификации и деловых качеств оперативного персонала должно осуществляться на основе новых современных знаний физической и технической природы электроэнергетики, производственно-экономических отношений между субъектами энерго-рынка, оценки профессиональной пригодности и психофизической тренированности.

Это позволит персоналу повысить устойчивую работу и обеспечить высокую надежность и эффективность текущих режимов системы.



**Благодарю**

**за**

**ВНИМАНИЕ!**