

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Доктор техн. наук *В.А. Седнев*, кандидат техн. наук *А.В. Смуров*, *А.В. Седнев*

*На основе анализа государственной политики в области электроэнергетики и обеспечения электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации, структуры электроэнергетики, условий и факторов, влияющих на устойчивость функционирования региональных систем электроэнергетики, установлены факторы, влияющие на электроэнергетическую безопасность страны.*

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, система электроснабжения, надежность электроснабжения, чрезвычайная ситуация, управление.

## FACTORS AFFECTING THE ELECTRIC POWER SAFETY OF THE SUBJECTS OF THE RUSSIAN FEDERATION

**Dr (Tech) *V.A. Sednev*, Ph.D. (Tech.) *A.V. Smurov*, *A.V. Sednev*  
Federal state budgetary educational institution of higher education  
«Academy of the state fire-fighting service of EMERCOM of Russia»**

*Based on the analysis of state policy in the field of electricity and providing energy security of constituent entities of the Russian Federation, the electricity sector structure, conditions and factors affecting the stability of operation of the regional power systems, the factors affecting the energy security of the country.*

**Keywords:** electric power system, power supply system, power supply reliability, emergency, management.

Электроэнергетика страны определяет состояние её экономики и благополучие населения. При этом рост численности населения и экономическое развитие регионов способствуют росту потребности в электрической энергии.

Создание электроэнергетики опиралось на Государственный план электрификации (ГОЭЛРО), принятый в 1920 г. (первый был выполнен к 1931 г., второй – к 1940 г.) [1, 2].

Индустриализация страны предусматривала абсолютную централизацию, отраслевой монополизм, градообразующую гигантоманию. Ликвидация с 1929 г. по 1931 г. 830 тыс. ветряных электростанций сделала неустойчивым электроэнергетическое обеспечение территорий. Сама же концепция плана ГОЭЛРО предусматривала: единый государственный план строительства хозяйства; сооружение комбинатов-гигантов; строительство городов на базе градообразующих предприятий; опережающее развитие электрификации при концентрации мощностей и централизации электроснабжения.

В конце 40-х гг. XX века вновь встал вопрос об электрификации страны. Вместо строительства малых и средних электростанций, которые могли бы охватить всю страну, обеспечить электроэнергией сельское хозяйство, отдалённые поселения, был избран путь строительства крупных электростанций, начавшийся с каскада Волжских гидроэлектро-

станций (ГЭС). Быстрыми темпами с конца 50-х гг. XX века началось строительство сельских сетей и подключение колхозов к государственным сетям. В результате было уничтожено от 5 до 6,6 тыс. средних электростанций мощностью 100–10000 кВт. Из нескольких путей, руководствуясь лозунгом электрификации страны, был выбран жёстко монопольный вариант развития электроэнергетики, когда за счёт потребителя осуществляли его же присоединение. На этом этапе энергосистема получила право выдавать технические условия на присоединение и запрещать потребителям строительство своих мощностей [2].

В результате было создано самое крупное в мире энергетическое объединение, – Единая энергетическая система России (ЕЭС России). Это позволило перебрасывать электроэнергию из районов, где в данный час суток имеется избыток мощности, в районы, где требуется ее увеличение. Ввиду технологических особенностей, созданное энергетическое объединение обеспечивало к началу собственной реформы мировой уровень надёжности энергоснабжения потребителей при низком уровне резерва мощностей и базировалась на тепловых нагрузках городов и промышленности, что обеспечивало эффективность производства электрической энергии.

Разрушение целостного функционирования электроэнергетики страны началось в 90-х гг. XX века [3]. После приватизации созданное в 1992 г. акционерное общество «ЕЭС России» (РАО «ЕЭС России») производило около 75% всей электрической энергии в стране и владело контрольными пакетами акций 72 региональных энергетических компаний и 25 крупных электростанций.

Развитие ЕЭС России было связано [4] с обеспечением энергетической независимости отдельных регионов, выдачей мощности электростанций и надёжным электроснабжением потребителей. В 1999 г. функционировало 7 объединённых электроэнергетических систем и 75 энергосистем (АО-энерго). Параллельно работали 6 объединённых электроэнергетических систем, которые существенно различались по структуре генерирующих мощностей и по типам электростанций: Центра (больше доля ТЭС и АЭС), Средней Волги (больше доля ГЭС и АЭС), Урала, Северо-Запада, Северного Кавказа (для последних трёх преобладает доля ТЭС), Сибири (больше доля ГЭС); объединённая электроэнергетическая система Востока работала изолированно. Основную часть генерирующей мощности (2/3) образуют тепловые электростанции, мощность гидроэлектростанций в 3 раза меньше, а на долю атомных электростанций (АЭС) приходится 11 % генерирующей мощности. РАО «ЕЭС России» прекратила свою деятельность 1 июля 2008 г.

Не отрицая достижения электроэнергетики, на сегодня системы электроснабжения напряжением  $U=0,38-110$  кВ имеют протяженность 2,3 млн. км; в эксплуатации около 500 тыс. трансформаторных пунктов 6-35/0,4 кВ. Состояние электрических сетей неудовлетворительное (в Нечерноземье 59% воздушных линий 0,38 кВ и 42% воздушных линий 6-10 кВ имеют износ 100%, а протяженность их больше оптимальной длины 8-12 км: более 25 км - 13,3 %, более 50 км - 2,2%) [5]. В ещё большей степени это относится к электрическим сетям 0,4 кВ (380/220 В), при этом 90% потребителей работают на этом напряжении. Поэтому наблюдается 70-100 ч перерывов в электроснабжении потребителей в год (в развитых странах - 7-10 ч/год) и высокая аварийность потребителей.

Из анализа государственной политики в области электроэнергетики следует, что экономические выгоды концентрации производства электрической энергии с одновременным сооружением энергетических центров были догмой, а развитые страны делали ставку на малые, по мощности, потребители.

Ежегодно рост мощностей отработавшего энергетического оборудования составляет 5 тыс. МВт на тепловых электростанциях и 2 тыс. МВт на гидроэлектростанциях. И здесь возникает вопрос о стратегии электроэнергетического обеспечения потребителей, и об энергетической безопасности страны [6-8] на фоне увеличения аварий на объектах электроэнергетики (табл. 1).

**Анализ аварий на объектах электроэнергетических систем**

<b>Дата</b>	<b>Исходное событие, масштаб и ущерб</b>
25.05.2005	Пожар на подстанции Чагино: в Москве отключено 25 %, в Тульской - 90%, в Калужской - 22% потребителей на 30 час. Авария затронула 4 млн. чел. Ущерб более 1 млрд. руб.
14.10.2007	Снегопад (Московская обл.): без электроэнергии 532 населенных пункта, Можайский, Волоколамский, Рузский, Клинский, Солнечногорский и Истринский районы, часть Мытищинского района и Дмитрова, обесточен г.Троицк, а также Гагаринский район Смоленской области.
17.08.2009	Несоблюдение технических регламентов: разрушение, затопление машинного зала Саяно-Шушенской ГЭС, погибло 75 человек, ущерб 60 млрд. руб.
13.06.2010	Штормовой ветер в Нижегородской области оставил без электроэнергии 1274 населенных пункта, 16 районов (58693 дома, 246550 чел.).
20.06.2010	Авария в энергосистеме в Санкт-Петербурге и Ленинградской области привела к отключению несколько линий электропередачи 110-330 кВ, к нарушению электроснабжения потребителей в девяти районах Санкт-Петербурга и в трех районах Ленинградской области.
20.08.2010	Выход из строя изоляции контрольного кабеля на подстанции «Восточная» привел к 40-мин. отключению электроэнергии в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, в зону отключения попало 2,5 млн. человек.
25.08.2010	Нештатные действия устройств релейной защиты оставили без энергоснабжения правобережную часть Санкт-Петербурга, северо-западную часть Ленинградской энергосистемы в составе Выборгского энергорайона, 30% потребителей Ленинградской энергосистемы, 19 учреждений, потребляющих мощность в 1 ГВт. Прекращено водоснабжение в ряде районов города, остановлено движение метрополитена, поездов.
03.12.2010	Снегопад в Курской и Воронежской областях привел к обрыву линий электропередачи, нарушению электроснабжения промышленных и бытовых объектов.
05.12.2010	Плохие погодные условия: в Республике Татарстан произошли порывы линий электропередачи, обесточены 69998 жилых домов, 186 школ, 120 детских садов.
17.02.2011	Авария на линии электропередачи 110 кВ в Барнауле: отключены 4 электроподстанции, без электроснабжения остались частично Индустриальный, Железнодорожный, Ленинский и Октябрьский районы с населением 109 тыс. чел., 6 больниц, 32 школы, 48 детских садов.
26.01.2012	Ураганый ветер в Краснодарском крае, скорость которого достигала 40 метров в секунду, оставил без света 250 тысяч жителей Анапы и Новороссийска.
19.10.2014	Ледяной дождь стал причиной технологических нарушений в работе электросетевого комплекса на Южном Урале, в Челябинской области нарушено электроснабжение около 80 населенных пунктов с населением 28 тыс. человек.
04.01.2015	От пожара пострадал четвертый блок Сургутской ГРЭС-2. Ущерб оценивался в 1 млрд руб.
11.11.2016	Ледяной дождь оставил без света Наро-Фоминский, Дмитровский, Солнечногорский, Клинский и Сергиево-Посадский районы Подмосковья.
15.11.2016	В результате обрыва проводов в Екатеринбурге обесточены 4 подстанции 110 кВ, без электроснабжения в Орджоникидзевском районе остались 117 000 чел., 116 социально значимых объектов, предприятия промышленности.
01.08.2017	Действием защиты отключены: воздушная линия электропередачи 500 кВ «Бурейская ГЭС – Амурская»; первая цепь воздушной линии 500 кВ «Бурейская ГЭС – Хабаровская»; межгосударственная воздушная линия 500 кВ «Амурская – Хэйхэ»; воздушные линии 220 кВ «Хабаровская – Волочаевка тяговая» и «Хабаровская – Левобережная». В Амурской области без энергоснабжения остались 498 тыс. чел., в Южной Якутии – 39,7 тыс. чел., Хабаровском крае – 715,3 тыс. чел., в Приморском крае – 430 тыс. чел., всего – более 1,5 миллиона жителей.
28.07.2018	Авария на энергомосту через Керченский пролив привела к отключению четырех линий, Симферополь, Керчь, Ялта, Судак и другие города Крыма остались без электроэнергии.
23.01.2020	Из-за повреждения кабельной линии в Томске обесточены восемь трансформаторных подстанций, без электроснабжения остались 279 домов частного сектора, один 9-этажный и 15 малоэтажных домов, детское отделение поликлиники.

Оценивая состояние в области электроэнергетики, можно сделать следующие выводы: план электрификации страны с 1918 г. ориентирован на создание крупных энергетических мощностей и цели его не достигнуты, - около 20 млн. человек на 2/3 территории страны находятся без централизованного электроснабжения;

уничтожение малых, по мощности, электростанций сделало неустойчивым электроснабжение объектов и населенных пунктов. При этом одной из задач энергетической стратегии является внедрение автономного электроснабжения потребителей на основе различных источников электрической энергии;

реформа электроэнергетики привела к тому, что производство, передача и распределение электрической энергии, ее сбыт и диспетчеризация осуществляются различными коммерческими организациями, хотя единая система электроэнергетики обеспечивает экономию не менее 25% от своего содержания;

нарастание старения оборудования электростанций и сетей, дефицита мощности в ряде энергосистем увеличивает вероятность ситуаций, связанных с недостаточностью электроснабжения объектов и территорий.

Топливо-энергетический комплекс является системообразующей отраслью, обеспечивая более 40% поступлений в бюджет страны, а доля отраслей топливо-энергетического комплекса в объеме внутреннего валового продукта составляет 30% [9]. Устойчивое развитие и надежное функционирование электроэнергетики регионов определяют их энергетическую безопасность [10].

За последние годы изменилась система государственного регулирования и структура отрасли; под государственный контроль перешел Системный оператор, на которого возложена задача управления качеством электроснабжения потребителей; активы генерации объединились в оптовые генерирующие компании, объединившие электростанции, специализированные на производстве почти исключительно электроэнергии, и территориальные генерирующие компании, куда вошли теплоэлектроцентрали, производящие электрическую и тепловую энергию. Тепловые оптовые и территориальные генерирующие компании переданы под контроль частных инвесторов, однако государство сохраняет контроль над «ГидроОГК», частным инвесторам также переданы сбытовые, ремонтные и сервисные компании. В результате реструктуризации РАО «ЕЭС России» сформировалась следующая структура электроэнергетики [2]:

инфраструктурные организации: организация по управлению Единой национальной электрической сетью (ЕНЭС) – ФСК – обеспечивает единство технологического управления, оказывает услуги по передаче электроэнергии. Активы – магистральные сети, Системный оператор, который осуществляет единоличное управление режимами работы ЕНЭС России, активами которых являются линии электропередачи низкого напряжения;

генерирующие компании: оптовые генерирующие компании с средней установленной мощностью около 9 ГВт на базе тепло- и гидрогенерирующих активов, при этом тепловые генерирующие компании формируются по экстерриториальному принципу, «Гидро-ОГК» – по каскадам ГЭС. На рынке также действуют производители электроэнергии на базе атомной генерации и на базе независимых от «ЕЭС России» АО-энерго; территориальные генерирующие компании обладают установленной мощностью от 1 до 11 ГВт. Ряд территориальных генерирующих компаний еще включает активы тепловых сетей и котельных;

энергосбытовые компании, - созданы в результате реорганизации АО-энерго и исполняют функции поставщиков электроэнергии конечным потребителям;

сервисные и научно-проектные организации. Структура отрасли предполагает наличие независимых компаний, осуществляющих инженеринговую деятельность для компаний электроэнергетики.

На сегодня ЕЭС России – крупнейшее в мире электроэнергетическое объединение, охватывающее с запада на восток около 7 тыс. км и с севера на юг – более 3 тыс. км. Развитие ЕНЭС России обусловлено необходимостью рационального использования энергоресурсов и повышения надежности электроснабжения страны.

В составе объединенной электроэнергетической системы Северо-Запада работают энергообъекты на территориях г. Санкт-Петербурга, Мурманской, Калининградской, Ленинградской, Новгородской, Псковской, Архангельской областей, республик Карелия и Коми. Особенности: протяженные (до 1000 км) одноцепные воздушные линии 220 кВ и 330 кВ; большая доля электростанций (атомных и тепловых), обеспечивающих 90% выработки электроэнергии.

Объединенная электроэнергетическая система Центра является наиболее крупной, – в ее составе работают энергообъекты, расположенные на территориях двадцати субъектов Российской Федерации, а генерирующие мощности составляют 25% от суммарной генерирующей мощности ЕНЭС России. Особенности ее: самая высокая удельная доля атомных электростанций; большое количество промышленных узлов.

В составе объединенной электроэнергетической системы Средней Волги работают энергообъекты на территориях восьми субъектов Российской Федерации. Особенность ее: значительная доля гидрогенерирующих мощностей.

Объединенная электроэнергетическая система Урала образована из энергообъектов на территориях девяти субъектов Российской Федерации. Их объединяет более 106 тыс. км линий электропередачи (четверть протяженности линий электропередачи страны) напряжением 500-110 кВ. Особенности ее: сложная сеть 500 кВ, в которой ежедневно от 2 до 8 воздушных линий электропередачи отключены для планового или аварийного ремонта.

В составе объединенной электроэнергетической системы Юга работают энергообъекты на территориях двенадцати субъектов Российской Федерации. Особенности ее: схема электрической сети на базе воздушных линий электропередачи 330-500 кВ; неравномерность стока рек Северного Кавказа, приводящая к дефициту электроэнергии зимой и профициту в летний период; самая большая доля коммунально-бытовой нагрузки в структуре электропотребления;

Объединенная электроэнергетическая система Сибири. В ее составе работают энергообъекты на территориях одиннадцати субъектов Российской Федерации, «Таймырэнерго» работает изолированно. В неё объединены 87 тыс. км воздушных линий электропередачи напряжением 110-1150 кВ. Особенность: более 50% генерирующей мощности составляют ГЭС.

Энергообъекты на территориях Амурской области, Хабаровского и Приморского краев и Южно-Якутского энергорайона Республики Саха (Якутия) образуют электроэнергетическую систему Востока. Особенности ее: преобладание тепловых электростанций (более 70%); одна из самых высоких в России (21%) доля коммунально-бытовой нагрузки в электропотреблении.

Существующие региональные системы электроэнергетики представляют собой сложные комплексы (рис. 1), устойчивость которых зависит от устойчивости составляющих элементов, и могут включать одну или несколько электроэнергетических систем.

Различают [1] следующие уровни электроэнергетической системы:

отдельный электроприемник или группа электроприемников с определённой паспортной мощностью - питание осуществляется по одной линии;

щиты распределительные и распределительные пункты напряжением до 1 кВ переменного и до 1,5 кВ постоянного тока, щиты управления и щиты станций управления, шкафы силовые, вводно-распределительные устройства, установки ячеекового типа, шинные вводы, сборки, магистрали;

щит низкого напряжения трансформаторной подстанции 10(6)/0,4 кВ или сам трансформатор;

шины распределительной подстанции (РП) 10(6) кВ;  
 шины главной понизительной подстанции, подстанции глубокого ввода, опорной подстанции района;  
 граница раздела региональной системы электроэнергетики и энергоснабжающей организации.

При этом выделены: потребитель, питающийся на низком напряжении (90 % потребителей); малый потребитель, имеющий трансформаторные подстанции с напряжением 10(6) кВ (9 %); средний потребитель, имеющий распределительные подстанции и электрохозяйство с электрослужбой (0,9 %); крупный потребитель, имеющий главную понизительную подстанцию с напряжением 35-330 кВ.

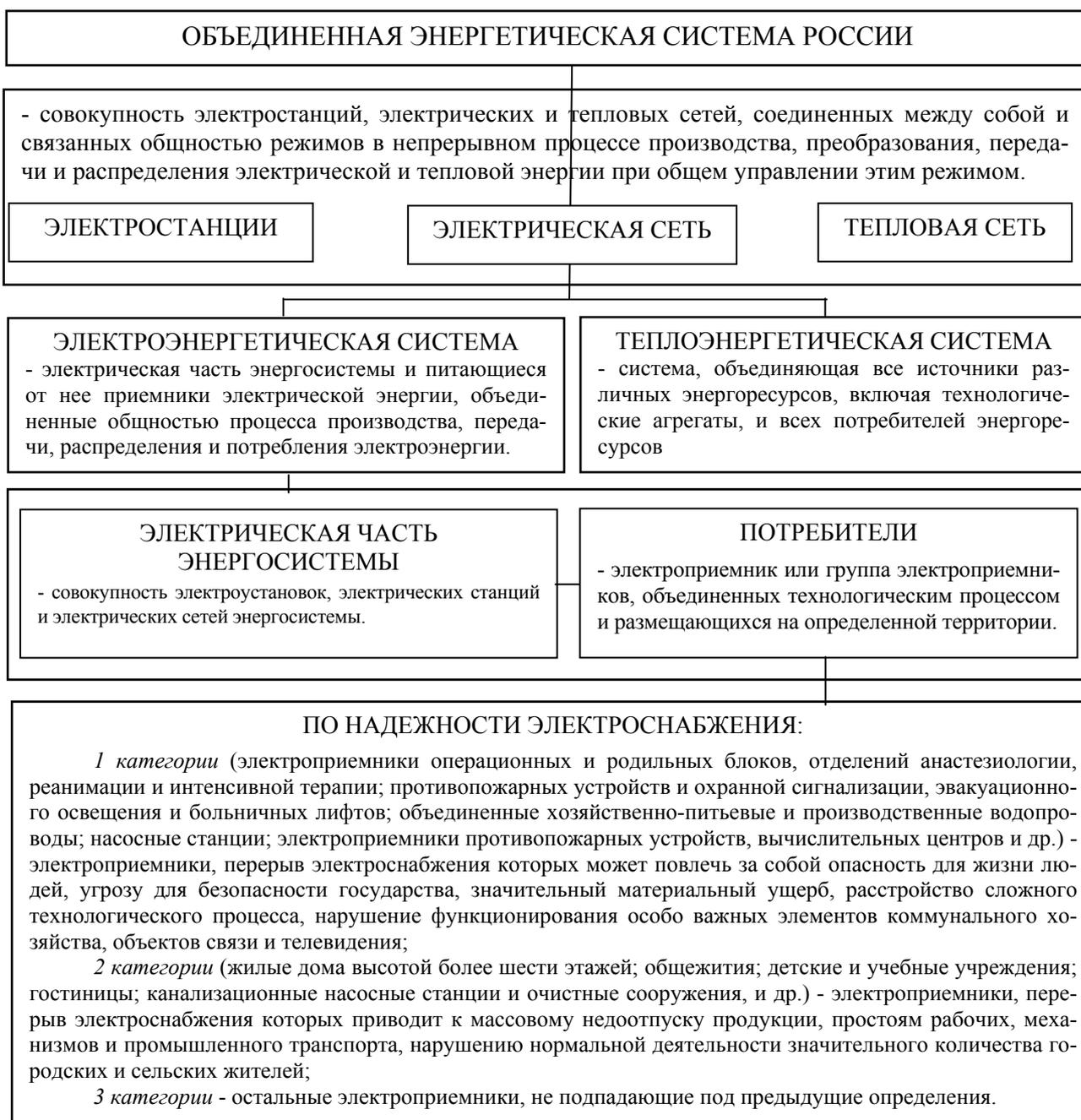


Рис. 1. Структура объединенной энергетической системы

Под электроэнергетической системой понимается электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Потребители, независимо от того, относятся они к опасным производственным, потенциально опасным или критически важным объектам, подразделяются на три категории, в зависимости от допустимого времени возможного перерыва в подаче электрической энергии:

к первой относятся такие, перерыв в электроснабжении которых влечет невыполнение объектом своих задач, нарушение функционирования важного оборудования и создает опасность для жизни, – потребители обеспечиваются электрической энергией от двух независимых источников электрической энергии и перерыв в их электроснабжении допускается лишь на время автоматического восстановления питания;

ко второй категории относятся такие, нарушение питания которых не влияет на выполнение объектом своих задач, но приводит к простоем оборудования и нарушению нормальной деятельности работающего персонала, их рекомендуется обеспечивать электрической энергией от двух независимых источников электрической энергии, и перерывы в электроснабжении для них допустимы на время включения резервного питания;

электроприемники, не соответствующие определениям электроприемников первой и второй категорий, относятся к третьей категории. Прекращение их питания не влияет на деятельность объекта, если потребители лишены питания на срок, не превышающий суток.

Как следует из анализа структуры электроэнергетики, устойчивость региональной системы электроэнергетики включает устойчивость: структуры; отдельных подсистем (объектов); функционирования объектов материально-технического обеспечения.

Проблема повышения устойчивости функционирования объектов электроэнергетических систем региона и надежности электроснабжения потребителей приобретает все большее значение, что связано с рядом причин, основными из которых являются: ослабление механизмов государственного регулирования и безопасности в электроэнергетической отрасли; прогрессирующий износ основных производственных фондов электроэнергетических систем; отсутствие законодательной базы, стимулирующей выполнение мероприятий по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций; незащищенность малых, по мощности, потребителей, к которым относятся и население, и др.

На сегодня 2/3 территории страны - без электричества, это не только отдаленные и северные районы, но и населенные пункты, отключаемые планоно, аварийно, грозой, ветром, гололедом и по другим причинам.

Морально и физически устаревшая инфраструктура послужила причиной возникновения череды крупных аварий и катастроф: авария на подстанции Чагино в 2005 г.; техногенная катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г.; авария в распределительных сетях Санкт-Петербурга в 2010 г.; выход объектов энергосистемы в результате ледяного дождя в ряде центральных регионов зимой 2011 г., и др. (табл. 1).

Для снижения износа объектов энергосистемы хотя бы до 50% требуется свыше двух триллионов рублей и 10 лет работы. Около 25% мощности энергоблоков и более 40% неблочного оборудования тепловых электростанций находятся за пределами целесообразности их эксплуатации.

Несвоевременная замена мощностей электростанций может привести к технологическим авариям с тяжелыми социально-экономическими последствиями. При этом система энергообеспечения городов и деревень недостаточно устойчива, эффективна и надежна, нуждается в перестройке и реализации мер по повышению устойчивости функционирования.

Объем и характер возможного ущерба для потребителей от отсутствия энергообеспечения зависит также от заблаговременно осуществленных мер по подготовке к функционированию в условиях чрезвычайной ситуации.

Чрезвычайные ситуации на объектах электроэнергетики приносят колоссальные убытки территориям. От надежного электроснабжения зависит работа заводов, больниц, образовательных учреждений, объектов сельского и жилищно-коммунального хозяйства.

Таким образом, проведенный анализ позволил выявить следующее:

устойчивое развитие и надежное функционирование региональной системы электроэнергетики определяет энергетическую безопасность и является фактором устойчивого социально-экономического развития территорий;

недостаточное финансирование электроэнергетического комплекса приводит к снижению системной надежности электроснабжения потребителей;

в составе ЕНЭС России параллельно работают 6 объединенных электроэнергетических систем, при этом для каждой характерны свои особенности, связанные с различным распределением электропотребления объектов (в одном случае преобладает жилищно-коммунальное электропотребление, в другом – промышленное), с высоким износом основных производственных фондов, с дефицитом производства электрической энергии, неравномерностью распределения источников электрической энергии и потребителей;

в результате реформы активы генерации объединены в семь оптовых генерирующих компаний и 14 территориальных генерирующих компаний, выход из строя которых создает чрезвычайную ситуацию, связанную с недостаточностью электроэнергетического обеспечения потребителей;

установлена единая схема электроэнергетической системы, отличающаяся многоуровневостью, для которой характерно большое количество несчетных элементов и выполняемых функций;

разделение РАО «ЕЭС России» на отдельные, по направлениям, организации, привело к увеличению расходов на содержание системы электроэнергетики, при оставшейся постоянной ее структуре, и к снижению надежности электроснабжения потребителей, при этом существует ряд регионов, для которых характерна нехватка производимой электроэнергии и необходимость рационального использования ее.

Учитывая, что основными производителями электроэнергии являются крупнейшие электростанции различного назначения (ГЭС, АЭС, ТЭС и др.), выход их отдельных элементов или электростанций в целом приводит к неустойчивой работе самой электроэнергетической системы, при этом отдельные электроэнергетические системы работают изолированно от ЕНЭС России.

Поэтому к основным задачам обеспечения электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации относятся прогнозирование параметров электропотребления объектов, а также количественных и качественных характеристик источников электрической энергии.

Исходя из определения электроэнергетической системы, повышения устойчивости функционирования ее основных элементов можно достичь путем осуществления мероприятий, включающих: оценку возможностей региональной системы электроэнергетики по обеспечению потребителей электроэнергией; обоснование сил и средств для восстановления вышедших из строя ее элементов; резервирование элементов электроэнергетической системы.

Все мероприятия по повышению устойчивости функционирования объектов систем электроэнергетики можно разделить на организационные и инженерно-технические [6].

К организационным мероприятиям относят:

выполнение требований нормативных документов и правил в ходе эксплуатации и при обслуживании объектов электроэнергетической системы;

работы по планированию обеспечения работы объектов электроэнергетической системы, их реализации и контроль их выполнения;

оказание методической помощи администрации объекта со стороны должностных лиц МЧС России по прогнозированию возможной обстановки на объектах электроэнергетической системы в случае чрезвычайной ситуации, а также в разработке отдельных мероприятий по повышению устойчивости их функционирования;

работы, связанные с подготовкой сил РСЧС, их оснащением и обучением.

К инженерно-техническим мероприятиям относятся:

устройство убежищ для персонала объектов электроэнергетической системы; повышение физической устойчивости зданий и сооружений электроэнергетической системы к воздействию поражающих факторов чрезвычайной ситуации;

обеспечение требуемой защиты технологического оборудования электростанций; подготовка электростанций к остановке работы при возникновении режимов, отличающихся от регламентных;

создание запасов оборудования для проведения плановых обслуживания и ремонта; подготовка к восстановлению нарушенного производства электрической энергии и др.

Основные инженерно-технические мероприятия могут быть разделены на группы: соблюдение требований нормативных документов при размещении сооружений и элементов энергосистем, контроль за их состоянием; повышение устойчивости функционирования электростанций, линий электропередачи, электрических подстанций; оперативно-диспетчерских пунктов.

Основными мероприятиями являются:

- в режиме повседневной деятельности: прогнозирование чрезвычайной ситуации в электроэнергетической системе, реализация мер по ее предупреждению;

- в режиме чрезвычайной ситуации: прогнозирование её развития и последствий, оповещение руководителей и населения о чрезвычайной ситуации, проведение мероприятий по защите населения, организация работ по ликвидации чрезвычайной ситуации и др.

К числу основных задач при планировании и организации выполнения мероприятий, направленных на повышение устойчивости функционирования электроэнергетических систем, относятся:

прогнозирование состояния электроснабжения;

выбор и оценка эффективности мероприятий, направленных на надежное обеспечение потребителей электрической энергией;

подготовка электроэнергетической системы к работе в режиме чрезвычайной ситуации;

контроль соблюдения требований нормативных документов при проектировании и реконструкции электроэнергетической системы, при этом основное внимание обращается на размещение объектов электроэнергетической системы вне зон возможных разрушений, зон катастрофического затопления и опасного удаления от объектов со взрыво- и пожароопасной технологией.

Работе органов управления по снижению последствий чрезвычайной ситуации предшествуют: обзор катастрофических случаев; анализ параметров, необходимых для оценки ущерба от чрезвычайной ситуации; прогнозирование развития чрезвычайной ситуации во времени и др. В режиме повседневной деятельности прогнозируется факт возникновения чрезвычайного события, его место, возможные масштабы и др.; при возникновении чрезвычайной ситуации прогнозируется ход развития обстановки, эффективность намеченных мер, требуемый состав сил, средств и ресурсов;

обоснование мероприятий по уменьшению возможных последствий чрезвычайной ситуации, которые классифицированы, – группы мероприятий, различающиеся способами решения задачи по уменьшению последствий чрезвычайной ситуации, и по времени проведения: заблаговременные, проводимые при непосредственной угрозе чрезвычайной ситуации, в процессе воздействия чрезвычайной ситуации и после чрезвычайной ситуации;

организация аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, которая включает рассмотрение видов работ, организацию собственно их проведения; обоснование состава сил и средств, способов и приемов выполнения видов работ, технологии выполнения работ; меры безопасности при проведении работ.

Таким образом:

несмотря на проведение мероприятий по предупреждению чрезвычайной ситуации, основной задачей соответствующих служб является реагирование на чрезвычайную ситуацию, заведомо предполагая ее возникновение, в т. ч. на объектах электроэнергетической системы, для чего проводятся соответствующие мероприятия по снижению ущерба и потерь. Однако объекты электроэнергетической системы не имеют резерва дорогостоящего оборудования для быстрого восстановления нарушенного производства электрической энергии, а известные случаи восстановления работоспособности источников электрической энергии связаны с событиями, не переросшими в чрезвычайную ситуацию, и носившими локальный характер;

определяющим в обеспечении электроэнергетической безопасности региона является, кроме мониторинга и прогнозирования защищенности и состояния объектов электроэнергетической системы, определение требуемых объемов электроэнергетического обеспечения потребителей.

Ограниченность традиционных энергоресурсов и рост энергопотребления потребителей формируют угрозу электроэнергетической безопасности территориям, которую необходимо верно оценивать, сосредоточившись на количественном и качественном прогнозе развития электроэнергетики. При этом оценка элементов регионального электротехнического комплекса выявила тенденцию его формирования, заключающуюся в переходе от укомплектования отдельными изделиями к построению технических систем, состоящих из элементов, количество которых практически бесконечно: в регионе низковольтной аппаратуры –  $10^5$ , различных электротехнических изделий –  $10^9$ .

Однако существующее разделение потребителей по видам деятельности и различные условия работы не позволяют однозначно применять, учитывая множество электротехнических средств в системе, существующие методы определения электрических нагрузок для обоснования параметров электропотребления объектов и состава электроэнергетических систем.

Расчетная электрическая нагрузка  $P_p$  [1] является одним из ключевых параметров оценки устойчивости электроэнергетического обеспечения потребителей и связана с уровнем электроэнергетической системы.

Начало теории расчета нагрузок в системах электроснабжения ниже шестого уровня связывают с Н.В. Копытовым (1933 г.); в 1925 г. Л.Е. Машкиллейсон использовал упорядоченную диаграмму; И.И. Петров (1932 г.) рассматривал коэффициенты одновременности, использования, загрузки, спроса, временной; Ю.Л. Мукосеев (1936г.) обосновал методы определения коэффициента спроса и расчета нагрузок по удельным плотностям.

В 1937 г. Г.М. Каялов предложил метод упорядоченных диаграмм, который лег в основу указаний по расчету электрических нагрузок. В 1934-1937 гг. А.С. Либерман рассмотрел: условия совместного питания силовой и осветительной нагрузки, методы распределения энергии на объектах-потребителях.

Внедрение в 1970 г. метода системной оценки электрического хозяйства позволило показать, что ошибки в расчетах достигают 50-200 %, нагрузка силовых трансформаторов составляет 25-40%, распределительных сетей – 20-30%, коэффициент спроса  $K_c$  установленного электрооборудования равен 0,2-0,25. Выделение шести уровней системы электроснабжения показало, что указания, основанные на методе упорядоченных диаграмм, не могут быть применены, и начинать расчет нагрузок для объекта со списка электро-

приемников, их групповых и индивидуальных коэффициентов (спроса  $K_c$ , использования  $K_n$ , максимума  $K_m$ , одновременности  $K_o$  и др.) невозможно.

Комплексный метод [1, 2] определения нагрузок основан на одновременном применении нескольких способов расчета и включает выражения по:

общему годовому электропотреблению  $A_T$  или среднегодовой мощности, используя коэффициент максимума  $K_m$ , с шестого по четвертый уровни:

$$P_m = K_m \cdot \frac{A_T}{T} = K_m \cdot P_{ст} ; \quad (1)$$

удельным годовым расходам электроэнергии с пятого по третий уровни:

$$P_m = K_m \cdot \sum \frac{A_{удi} \cdot M_i}{T_i} , \quad (2)$$

где  $A_{удi}$  – проектируемый, планируемый, прогнозируемый удельный расход ЭЭ;  $T_i$  – годовое число часов работы производства;

среднегодовому  $K_c$  и установленной мощности  $P_y$  с шестого по четвертый уровни:

$$P_m = K_c \cdot P_y ; \quad (3)$$

по удельным мощностям нагрузок с шестого по второй уровни:

$$P_m = \gamma \cdot F , \quad (4)$$

где  $\gamma$  – удельная мощность (плотность нагрузки);  $F$  – площадь объекта;

для прогнозирования временных рядов с шестого по четвертый уровни:

$$P_m = f_1(W_j); A = f_2(W_j, t); P_m = f_2(A, t), \quad (5)$$

где  $W_j$  – технологические или электрические показатели;

При этом разделяют задачу прогнозирования для следующих временных уровней: оперативный прогноз (до 1 мес.); краткосрочный (от 1 мес. до 1 года); среднесрочный (1-5 лет); долгосрочный (5-15 лет); дальнесрочный (более 15 лет). Существующие методы и модели прогнозирования можно разделить на традиционные, и основанные на искусственном интеллекте. Прогнозирование традиционным способом, в общем случае, включает два этапа:

построение математической модели по ретроспективным данным об электрических нагрузках;

получение на базе построенной модели прогнозных значений, при этом для прогноза чаще всего используют корреляционный и многофакторный анализ, анализ временных рядов, экспертные и иные методы.

Применение нейронных сетей предполагает реализацию нескольких этапов: выбор обучающих данных и их нормирование; предобработку обучающих данных; выбор оптимальной конфигурации сети и ее обучение; тестирование сети на контрольном множестве данных; прогнозирование электрической нагрузки.

В послевоенные годы электроснабжение ориентировалось на обеспечение электрической энергией промышленных центров, потребление которых достигало 70%, оставшиеся 30 % приходились на население.

Сейчас это соотношение поменялось при оставшейся практически неизменной структуре электроэнергетики. В результате состояние систем электроснабжения населенных пунктов, за исключением крупных городов, характеризуется низкой надежностью их электроэнергетического обеспечения.

Определение параметров электропотребления также связано и с проблемами энергосбережения. При этом для населения ключевым фактором является создание соответствующих бытовых условий их проживания. Первоочередные потребности населения - материальные средства и услуги для удовлетворения минимально необходимых потребностей в жизненно важных видах обеспечения: в воде; в коммунально-бытовых услугах и др. в течение требуемого периода по установленным для рассматриваемых условий нормам.

Возможности системы жизнеобеспечения включают объемы материальных средств и услуг, которые могут быть предоставлены системой в течение всего периода. Для устойчивого функционирования системы необходимо соблюдение следующих принципов: достаточность норм жизнеобеспечения; ориентирование на местные ресурсы с последующим использованием внешних резервов; способность к быстрому восстановлению и др.

Снижение потребностей системы в ресурсах обеспечивают заблаговременной подготовкой к возможным действиям; повышением эффективности проведения работ по инженерному оборудованию районов проживания населения; планированием мероприятий по восстановлению системы.

Таким образом, несмотря на многочисленность работ по электроснабжению различных объектов, мероприятиям по повышению устойчивости функционирования электроэнергетических систем и электроэнергетического обеспечения потребителей ранее должного внимания не уделялось.

При решении вопросов электроснабжения на низших уровнях системы определяющей величиной является расчетная нагрузка, которая применяется для расчета элементов системы электроснабжения на уровнях. Для их систем источники электрической энергии и параметры электроснабжения выбираются под конкретный электроприемник или объект с учетом технических и иных требований. В то же время доказано наличие устойчивых гиперболических  $H$ -распределений, отражающих видовую структуру установленного в электроэнергетических системах, и возможность применения техноценологического [1] подхода для исследования сложных систем.

В технических науках такой подход является новым, найденные с его применением закономерности исследуются в областях, связанных с экономикой, лингвистикой, биологией и др. Концепция закономерности описана в работах А.И. Яблонского; математическая постановка – у А.Я. Хинчина, А.Н. Колмогорова, Б.В. Гнеденко, В.М. Золотарева; интерпретация математического моделирования – у Д.И. Хайтуна, Ю.К. Крылова, Б.И. Кудрина, В.В. Фуфаева, В.И. Гнатьюка, В.А. Седнева и др. Методы исследования объектов электроэнергетических систем можно разделить на три класса:

агрегативные, – к нему относятся методы прогнозирования и имитационного моделирования. Для прогноза электропотребления используют экстраполяцию временного ряда, которая в условиях сильных изменений объекта приводит к большой ошибке прогноза. Для прогнозирования используют: метод наименьших квадратов, индуктивные методы селекции и самоорганизации; метод прогнозирования по аналогам, требующий больших банков данных; методы многофакторного прогнозирования;

экономико-математические (оптимизации и исследования операций) распространения для прогнозирования электропотребления не получили. В электроснабжении широкое применение получили вероятностно-статистические модели. Считается, что каждый из множества факторов есть случайная величина, функция распределения непрерывная - для нормального, гамма-, бета-распределений; дискретная – для распределений Пуассона и биномиального, поэтому могут быть найдены математическое ожидание и дисперсия;

техноценологические. Математический аппарат развивался как часть теории вероятности и статистики и теории множеств. Математический аппарат теории вероятности связывают с характеристическими функциями и безгранично делимым распределением. А.Я. Хинчин, А.Н. Колмогоров и Б.В. Гнеденко показали, что существует класс объектов, описываемых гиперболической кривой и не имеющих математического ожидания, дисперсия которых стремится к бесконечности.

Учитывая, что для любой системы характерным является гиперболическое  $H$ -распределение (как общая модель), предположено, что технический анализ возможен только в системе, структура которой описывается  $H$ -распределением.

Технический анализ базируется на принципах отражения, направленности и повторяемости. Суть первого заключается в том, что все внутренние и внешние факторы, влияющие на исследуемый параметр (электропотребление), отражены во временном статистическом графике изменения параметра.

Принцип направленности позволяет говорить о наличии причинно-следственной связи направлений изменения графиков и возможности оценивать эти связи в процессе анализа. Главной задачей является определение направлений движения графика параметра и их характеристик для использования в прогнозе и в процессе принятия решений. Существуют три класса трендов: движение вверх, вниз, боковой или бестрендовый (нет движения).

Принцип повторяемости занимается историей событий, произошедших с совокупностью влияющих факторов, отраженных в графике исследуемого параметра.

Разработка научно-методического подхода прогнозирования электропотребления объектов позволит обеспечить поддержку принятия решения на их устойчивое электроснабжение и определять необходимые объемы электропотребления для недопущения возникновения ситуации, связанной с недостаточностью электроэнергетического обеспечения объектов. Таким образом:

надежное функционирование электроэнергетики определяет электроэнергетическую безопасность территорий, которая является фактором их устойчивого социально-экономического развития;

уничтожение малых, по мощности, электростанций, сделало неустойчивым электроэнергетическое обеспечение ряда территорий, при этом электроэнергетические системы регионов лишились резервных электростанций, снизив собственную надежность и надежность электроснабжения потребителей;

для ряда регионов по-прежнему характерна нехватка электрической энергии и необходимость рационального использования ее, при этом 2/3 территории страны (10-20 млн. чел.) не имеет постоянного электроснабжения. Учитывая, что производителями электрической энергии являются крупнейшие электростанции, выход их элементов или электростанций в целом также приводит к нарушению электроснабжения территорий. При этом последствия аварий всегда связаны с недостаточностью электроэнергетического обеспечения территорий на длительное время;

электрификация страны ориентирована на создание крупных энергетических мощностей, выход из строя которых приводит к нарушению электроснабжения объектов, а сами электроэнергетические системы характеризуются низким уровнем резервирования генерирующих мощностей и не обеспечивают устойчивое электроэнергетическое обеспечение территорий;

анализ последствий аварий, связанных с невозможностью восстановить электроснабжение потребителей в короткие сроки, показал необходимость разработки научно-методического аппарата прогнозирования электроэнергетического обеспечения территорий, который будет являться основой поддержки принятия решений на реализацию мероприятий по обеспечению их электроэнергетической безопасности.

## Литература

1. Кудрин Б.И., Седнев В.А., Воронов С.И. Семнадцать лекций по общей и прикладной ценологии : монография. 3-е изд. М.: Российская академия наук. - 2020. 218 с.
2. Седнев В.А., Смуров А.В. Методы оценки и обоснования мероприятий по обеспечению электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации в условиях чрезвычайных ситуаций. Монография. М.: Академия ГПС МЧС России. – 2014. – 125 с.
3. Липатов Ю.А. Электроэнергетика России: вчера, сегодня, завтра // Российская Федерация сегодня. – 2008. - №12.
4. Топливо-энергетический комплекс России на рубеже веков - состояние, проблемы и перспективы развития: Справочно-аналитический сборник. – М.: ИАЦ «Энергия». – 2009. – Том 1. – 480 с.
5. Седнев В.А., Смуров А.В. Научно-методический подход поддержки принятия должностными лицами РСЧС решений на реализацию мероприятий по обеспечению электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации в условиях чрезвычайных ситуаций // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2014. №6. С.24-43.
6. Седнев В.А., Седнев А.В. Инженерно-технические мероприятия по подготовке электроэнергетических сооружений и систем к устойчивому функционированию // Промышленная энергетика. - 2019. №10. С. 11-18.
7. Кудрин Б.И. О концепции государственного плана рыночной электрификации России // Электрика. – 2009. - №8. - С.3-12.
8. Кудрин Б.И., Седнев В.А., Седнев А.В. Об энергетической безопасности страны и научной картине мира // Промышленная энергетика. - 2019. №8. 62 с. С. 44-48.
9. Некрасов А.С. Перспективы российской энергетики // Электрика. - 2006. №7. С. 3-14.
10. Седнев В.А., Седнев А.В. Научно-методический подход оценки структуры экономики региона (страны) и обоснования путей повышения ее устойчивости и эффективности развития // Проблемы управления рисками в техносфере. - 2018. №4С. 99-109.

## Сведения об авторах

**Седнев Владимир Анатольевич**, профессор, профессор кафедры защиты населения и территорий учебно-научного комплекса гражданской защиты Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Академия государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), 8 (495) 617-26-83, (926) 531-29-24, e-mail:sednev70@yandex.ru

**Смуров Артем Владимирович**, доцент, Академия государственной противопожарной службы МЧС России.(926) 951-82-43, smur\_36@bk.ru.

**Седнев Анатолий Владимирович**, студент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, stolya2000@mail.ru.