



ВОРОПАЙ Николай Иванович — член-корреспондент РАН, доктор технических наук, директор Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН (Иркутск). Член Международной организации по большим электрическим системам (CIGRE) и Международной ассоциации «Институт инженеров-электриков и электроников» (IEEE). Автор и соавтор более 300 публикаций

Со словом «энергетика» обычно ассоциируются миллионы тонн нефти, миллиарды кубических метров газа, миллиарды киловатт-часов... Реже вспоминаются тысячи километров трубопроводов и линий электропередачи... И только. На самом же деле энергетика как объективная реальность оказывается гораздо сложнее наших расхожих установок. Энергетические системы, объединяющие множество энергетических объектов, соединенных сложными связями, — цельные образования, согласно системной методологии, обладающие свойствами, не присущими составляющим их элементам. Причем эти новые системные характеристики могут быть как полезными, так и нежелательными

Масштабы впечатляют

Чтобы разобраться во всей многогранности современной энергетики, в качестве точки отсчета возьмем начало XX века. За столетие энергопотребление возросло в 11 раз, в то время как численность населения увеличилась менее чем в 4 раза. В 2000 г. мировое потребление энергии приблизилось к 15 млрд т у.т.* в год, или 2,5 т у.т. на душу населения, причем основными потребителями были экономически развитые страны.

За этот период произошла последовательная смена доминирующих энергоносителей: дрова — уголь — нефть, человечество стало использовать существенно больше видов энергоносителей.

В течение XX века основная стратегия развития энергетики в экономически развитых странах заключалась в централизации энергоснабжения при создании все более мощных энергетических объектов, обслуживавших громадные территории. Это диктовалось экономической целесообразностью, так как требовало относительно меньших капитальных и текущих затрат. В результате сформировались эффективно работающие протяженные энергетические системы — электроэнергетические, газо-, нефте- и тепло- снабжающие.

*т у.т. — тонна условного топлива, эквивалентная тонне хорошего угля

ЭНЕРГЕТИКА: от ПРОШЛОГО к БУДУЩЕМУ

Иркутская ГЭС.
Фото В. Короткоручко

25 мая 2005 года произошло РОССИЙСКОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ЧП — крупнейшая системная авария в электроэнергетической системе Москвы и Московской области, затронувшая соседние регионы. Аварийные события начались с каскадного отключения линий 220 кВт из-за перегрузки, повлекшей снижение напряжения в сети и нарушение устойчивости системы. В результате электропитание потеряли 258 подстанций и прекратили работу 10 электростанций. Развитие аварии было остановлено через 2 часа, но полностью схема электроснабжения была восстановлена лишь спустя 32 часа после начала аварии. В результате аварии остановилась работа московского метрополитена (около 20 тыс. человек было эвакуировано из поездов, заблокированных в тоннелях), нарушилась работа городского наземного транспорта, железнодорожного, возникли проблемы с сотовой связью, Интернетом, платежными банковскими системами... Был обесточен ряд областей Центральной России: Калужская, Орловская, Рязанская, Курская, Московская, Тульская. Конкретные цифры ущерба от аварии будут установлены только после рассмотрения многочисленных судебных исков, на сегодня они составляют не менее 1,7 млрд рублей. Независимо от причин аварии — был ли виной тому «человеческий фактор» или изношенность и перегрузка оборудования — население волнует один вопрос. Является московская авария случайностью либо это первая грозная «ласточка» в череде будущих техногенных катастроф?



Плюсы энергетических систем

Современная энергетика представляет собой совокупность энергетических отраслей, организованных в энергетические системы, которые производят, перерабатывают и распределяют среди потребителей топливно-энергетические ресурсы и энергию. Эти системы взаимосвязаны: выходной продукт одной является входным для другой. Так, газ — топливо для электростанций, ТЭЦ и котельных, электроэнергия используется на нефтеперекачивающих станциях и т. д.

Энергетические системы, особенно в экономически развитых странах, все более приобретают черты *инфраструктурных*, т. е. таких, без которых немислимы жизнь современного человека и экономика. Одна из таких черт — возможность получить продукт или услугу требуемого качества в любом месте на планете и по доступной цене. Конечно, в этом плане энергетические системы пока уступают, например, той же телефонной связи или Интернету, но это пока...

Открытое распределительное устройство Иркутской ГЭС — первенца крупнейшего в стране ангарского каскада гидроэлектростанций.
Фото В. Короткоручко

Надежность, качество и эффективность достигаются за счет так называемых системных эффектов, наиболее хорошо изученных для электроэнергетических систем. Например, снижение установленной мощности электростанций может обеспечиваться за счет совмещения суточных максимумов нагрузки потребителей, находящихся в разных часовых поясах. Или за счет совмещения годовых максимумов, как это делается при совместной работе систем США и Канады (с максимальной летней и зимней нагрузкой, соответственно); взаимопомощи резервами и т. д. По оценкам специалистов, для Единой энергосистемы бывшего СССР суммарный системный эффект равнялся в энергетическом эквиваленте работе более пяти дополнительных Братских ГЭС.

Трудности и проблемы

Однако, как известно, за все надо чем-то платить. Энергетические системы — не исключение. Одним из новых системных свойств стало единство режимов работы энергетических систем. Это означает, что в каждый момент времени в каждом узле разветвленной сетевой структуры должен соблюдаться баланс входящих и выходящих потоков энергоресурса. И любое отклонение от обычного режима в любом из элементов (изменение нагрузки, аварийное отключение и др.) сразу же отражается на потоках всей системы.

Возникает непростая задача распределения потоков в сложной многосвязной структуре. Решать ее нужно регулярно, поскольку нагрузки в узлах меняются постоянно, и наилучшим способом (с минимумом потерь, расхода топлива и т. п.). Кроме того, следует принимать во внимание возможные сбои в работе элементов системы и неизбежные аварии, поскольку любое техническое устройство не имеет стопроцентной надежности. При сравнительно простых авариях с ситуацией помогают справиться резервы мощности, производительности, пропускной способности связей и управления. В сложных ситуациях возникают системные аварии.

Последние наиболее характерны для электроэнергетических систем вследствие практически мгновенной реакции всей системы на «возмущение». Системные аварии стали достаточно частыми с 60-х годов прошлого столетия. Одна из последних подобных катастроф аварий произошла в 2003 г. в Северной Америке. В результате 50 млн жителей в восьми штатах США и в двух провинциях Канады много часов оставались без электроэнергии. В нашей электроэнергетике крупных системных аварий не было с 1957 г. и до недавних московских событий в мае 2005 г. Вообще таким авариям противодействует весьма развитая и эффективная система противоаварийного управления, которая у нас в целом намного более эффективна, чем в той же Северной Америке и в Европе.

Подобные серьезные аварии могут происходить и в системах нефтеснабжения: их причиной являются возникающие в нефтепроводах «волны давления», вызываемые гидроударом. В системах газоснабжения сложные аварии практически не происходят, поскольку давление газа в трубопроводной системе может меняться в широком диапазоне. Тем не менее в целом уязвимость всех энергетических систем, зависимость от воздействий разной природы достаточно высока.

Новое время — новые тенденции

В конце прошлого столетия к тенденции укрупнения энергетических объектов добавилась новая, прямо противоположная. Стала интенсивно развиваться «малая» энергетика. К ней относятся так называемые *распределенные источники энергии* — энергетические установки небольшой мощности и производительности, с малыми сроками ввода в эксплуатацию, оказавшиеся весьма конкурентоспособными.

Развитие такой энергетики стимулировалось целым рядом факторов. Во-первых, неопределенностью рыночных цен на энергоресурсы сегодня и спроса на них в будущем. Во-вторых, появлением новых высокоэффективных технологий и увеличением доли высококачественных энергоресурсов (прежде всего, газа) в энергоснабжении. Не последнюю роль сыграло и ужесточение экологических требований, стимулирующее использование возобновляемых энергоресурсов (гидроэнергии, ветра, биомассы и др.) при протекционистской политике государств.

Высокоэффективные (с КПД до 55–60%) газотурбинные и парогазовые установки (ГТУ и ПГУ) широкого диапазона мощностей, в том числе малых — от единиц до одного-двух десятков мегаватт, стали создаваться в 80-е годы прошлого столетия. Одновременно появился большой ассортимент мини- и микро-ГТУ (от долей киловатт до нескольких десятков киловатт). На их основе начали сооружаться малые комбинированные ГТУ-ТЭЦ для совместной выработки электроэнергии и тепла, что, с точки зрения экономии энергоресурсов, еще более эффективно.

Развитие малых ГТУ-ТЭЦ происходит достаточно интенсивно. В частности, в странах Европейского Союза их мощность в 2000 г. составляла 12% от суммарной мощности электростанций, а к 2020 г. она, согласно прогнозам, должна достигнуть 15–22%.



Новоуральская ТЭЦ. Фото В. Короткоручко

В российских условиях малые ГТУ-ТЭЦ — эффективные, экологичные, с коротким сроком сооружения, быстро монтируемые установки — экономически выгодны уже сейчас, чему способствует газификация средних и малых городов и поселков. При этом, как правило, используется отечественное оборудование. В перспективе потенциальные возможности сооружения малых ГТУ-ТЭЦ вместо устаревших неэкономичных котельных в целом по стране могут составить к 2050 г. до 10–15 % от суммарной мощности электростанций.

Выгодные мини

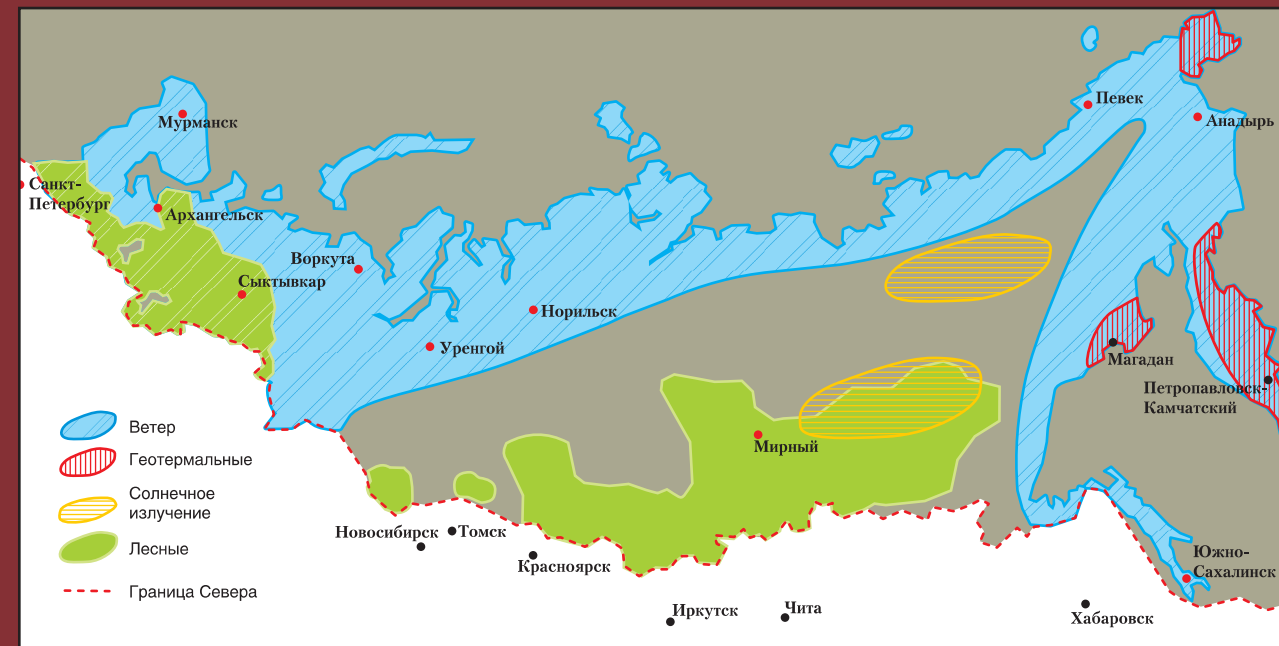
К малой энергетике относятся и многие типы популярных ныне энергетических установок на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Западноевропейские страны — Германия, Дания, Великобритания, Нидерланды, Испания, Швеция, Италия — планируют к 2010 г. увеличить производство электроэнергии на базе ВИЭ в среднем более чем на 10%, главным образом за счет использования энергии ветра. Потенциал ветровой энергетике есть и в России.

Следует заметить, что в 2000 г. в России работали всего 12 ветряных электростанций, две геотермальные установки, 59 малых ГЭС (мощностью от 0,5 до 30 мВт), около 100 мини-ГЭС (мощностью менее 500 кВт) и 11

установок на биомассе. Их суммарная мощность составила всего 0,5 % мощности всех электростанций в России и, несмотря на прогнозируемый рост, в ближайшие годы по-прежнему будет оставаться незначительной.

В нефтяном хозяйстве страны сейчас также идет активное освоение небольших нефтяных месторождений и развитие малых перерабатывающих установок. До недавнего времени в России действовало небольшое число крупных нефтеперерабатывающих заводов, использующих сложную и дорогостоящую технологию, выгодную лишь при переработке свыше 300 тысяч тонн нефти в год. Создание малотоннажных установок по производству высокооктановых бензинов оказалось экономически целесообразным с появлением новой каталитической технологии, разработанной в 1984 г. в Институте катализа СО РАН. По сравнению с традиционной технологией это позволило на треть снизить удельные капитальные затраты и эксплуатационные расходы и создать рентабельные мини-производства моторных топлив с производительностью переработки от 5 тыс. т нефти в год. Срок окупаемости таких мини-установок — всего 1,5–3 года, а обычных — 8–10 лет.

Аналогичная тенденция децентрализации наблюдается и в газовой отрасли.



Север нашей страны богат возобновляемыми энергетическими ресурсами, перспективными для развития здесь распределенной энергетики

Энергетические системы будущего

Согласно прогнозам, до середины нынешнего столетия и далее неизбежен значительный рост мирового потребления энергии, прежде всего в развивающихся странах. В промышленно развитых странах энергопотребление может стабилизироваться примерно на современном уровне или даже снизиться во второй половине века за счет повышения эффективности использования энергии. В России энергопотребление, возможно, будет расти до середины XXI века с последующей стабилизацией.

Структура энергетики по видам энергоресурсов, по прогнозам, качественно сохранится до середины нынешнего столетия. При этом энергетические системы будущего в связи с активным развитием малой энергетики будут отличаться от современных. Как и сейчас, они должны включать крупные источники электроэнергетики (с напряжением 110 кВт), без которых невозможно снабжение электроэнергией крупных промышленных потребителей и обеспечение целесообразных темпов роста электропотребления. В то же время существенную роль будут играть установки распределенной энергетики для распределительной сети мощностью 6–35 кВт. Третий уровень — мини- и микро-установки (мини- и микро-ГЭС, ветряные, солнечные электростанции,

топливные элементы и т. п.), которые подключаются на напряжении 0,4 кВт и устанавливаются у небольших потребителей, например в отдельных домах или даже квартирах.

Подобное сочетание крупных и малых источников, работающих на общую сеть, станет характерным и для других технологически единых энергетических систем — тепло-, газо- и нефтеснабжающих. Такая будущая трансформация энергетических систем существенно изменит их свойства, что поставит новые непростые задачи перед энергетической наукой. И задачи эти она обязана решить — нашим потомкам не нужны техногенные катастрофы..

Литература

Энергетика XXI века: Условия развития, технологии, прогнозы / Л.С. Беляев, А.В. Лагерева, В.В. Посекалин и др. Отв. ред. Н.И. Воронай. Новосибирск: Наука, 2004, 386 с.

Энергетика XXI века: Системы энергетики и управление ими / С.В. Подковальников, С.М. Сендеров, В.А. Стенников и др. Отв. ред. Н.И. Воронай. Новосибирск: Наука, 2004, 364 с.

Мировая энергетика и переход к устойчивому развитию / Л.С. Беляев, О.В. Марченко, С.П. Филиппов и др. Отв. ред. В.И. Зоркальцев. Новосибирск: Наука, 2000, 269 с.