

# Развитие энергосистем России в условиях современных вызовов и угроз



На вопросы журнала отвечает директор Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, специалист в области теоретических основ, моделирования, расчёта, оптимизации, управления развитием и функционированием систем энергетики, академик РАН, д.т.н. Валерий СТЕННИКОВ.

## ПРОТИВОРЕЧИЯ И ТЕНДЕНЦИИ

— Валерий Алексеевич, вы профессионально занимаетесь вопросами развития и управления энергетическими системами. В последние годы между поставщиками и потребителями энергии всё больше противоречий. В чём вы видите их системную причину? Что нужно для её устранения — в оперативном и стратегическом порядке?

— Проблема согласования интересов поставщиков и потребителей энергии существовала всегда. В плановой экономике она регулировалась государственными структурами. После перехода к рыночно-ориентированной экономике государство постепенно отдалось от управления энергетическим рынком, кроме экспортной деятельности и социальных обязательств. Возобладал принцип «рынок всё решит сам». Эти два последних обстоятельства привели к определённой обострению данной проблемы. Наиболее ярко это проявилось в регионах, где быстрыми темпами начал развиваться майнинг и образовался дефицит электроэнергии. В результате электроэнергетика оказалась недоступной для экономики, социальных потребителей и населения. Например, в Иркутской области из-за нарастающего дефицита около 19 тыс. домовладений не могут подключиться к энергосистеме, кроме того, возрастает аварийность систем и ухудшается качество поставляемой электроэнергии (напряжение в розетке падает до 160 В и ниже).

Я назову лишь несколько причин развития такой ситуации.

1. Современная российская электроэнергетика, как и другие энергетические системы, сохранила технические, технологические и даже организационные и экономические формы, перешедшие из плановой эконо-

мики, но при этом она сориентирована на работу по рыночным правилам. Основное внимание уделяется финансовым потокам, извлечению прибыли, а все технические проблемы уходят на второй план.

2. Планирование развития энергетических систем передано СО ЕЭС энергетическим компаниям, при этом они преследуют свои узко направленные интересы. Интересы потребителя, конечно же, не учитываются, кроме одного: «за всё заплатит потребитель». За государством, в свою очередь, сохранилась лишь разработка Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г., которая должна бы отражать стратегические направления развития энергетических систем и топливно-энергетического комплекса в целом. Однако роль Энергостратегии свелась лишь к концептуальным, декларативным аспектам, без чёткого определения перспектив и видения будущего энергетики, без понимания целей и задач. В результате по механизму ДПП построили 44 ГВт лишней мощности, а сегодня образовался дефицит там, где эта мощность не предусматривалась. В решениях отсутствует комплексность и согласованность планирования систем потребления и их энергоснабжения.

3. Самое главное то, что на всех уровнях принятия решений (страна, регион, компания) утеряна **практика применения системного анализа** энергетического комплекса со всеми его отраслями, прогнозирования и планирования комплексного развития, видения его будущего и **оценки последствий принимаемых решений** как в регионах, так и в стране в целом. В результате принимаемые решения по отдельным направлениям развития ТЭК не согласуются друг с другом. Нескоординированность процесса планирования развития электроэнергетической систе-

мы в части несоответствия сроков и территориально-го расположения объектов энергетики с размещением и сроками появления объектов энергопотребления во многом нарушает обеспечение баланса спроса и предложения электроэнергии. Разрабатываемые топливно-энергетические балансы не вписываются в существующую систему государственного стратегического планирования и не соответствуют целевым установкам энергетики, поскольку в основном ориентированы на оценку конкурентоспособности природного газа относительно других первичных энергоресурсов. При этом они не отражают реальную структуру потребления и производства энергии и не увязаны с системами энергоснабжения регионов и их взаимовлиянием. Методика расчёта ТЭБ построена так, что в ней чётко прослеживается цель, поставленная исполнителями, — продолжить газификацию там, где есть газовая инфраструктура, стимулировать этот процесс, и не газифицировать регионы, в которых газовая инфраструктура отсутствует. Это находится в полном противоречии со Стратегией пространственного развития России и поручениями президента РФ.

**4. Рост тарифов на энергоснабжение**, превышающий инфляцию, снижение качества энергоснабжения приводят к тому, что потребители стали уходить из централизованных систем (электроснабжения, теплоснабжения) и сооружать собственные источники генерации энергии. Например, в теплоснабжении это переросло в процесс «котельнизации» систем. Причём острота ситуации дошла до того, что ПАО «Россети» обеспокоилось этим вопросом и предложило ввести штрафные санкции и даже сохранить за промышленными предприятиями постоянную плату, чтобы воспрепятствовать их выходу из системы.

Решение перечисленных вопросов требует проведения структурных, организационных, технических, технологических преобразований. В одном интервью сложно перечислить основные направления трансформации энергетики. Вот лишь некоторые из них.

Изменения, прежде всего, должны быть направлены на создание централизованно-распределённых принципов построения и управления энергетикой. Это относится как к организационным структурам, которые должны быть ориентированы на субсидиарное управление с передачей функций множеству распределённых субъектов, так и технологическим системам, объединяющим крупные, средние и малые источники, системы и потребителей.

Необходимо пересмотреть систему планирования развития и функционирования энергетики в части прогнозирования спроса на энергию и мощность, оценки доступности, надёжности и качества энергоснабжения потребителей в широком смысле этого

слова. Это также многогранный вопрос. Прежде всего она должна отражать интересы государства в области энергетики и механизмы её реализации. В ней должны принимать активное участие федеральные, региональные, муниципальные структуры и компании. Важно привести нормативно-технические документы в соответствие с трансформирующимися условиями в части их состава, прогнозирования энергопотребления, определения структуры и размещения энергисточников, обеспечения их топливом, учёта тепло-энергетики и теплоснабжения и т.д. При этом на всех этапах важен системный анализ, оптимизация и оценка видения не только движения энергетики, но и последствий принимаемых решений для всех субъектов отношений, включая потребителей.

Необходимо ориентироваться прежде всего на использование рыночных механизмов привлечения инвестиций в новое строительство энергообъектов, в том числе выпуск акций, облигаций, депозитов, использование дивидендов и т.п. Важной составляющей является сокращение издержек энергокомпаний, включая энергосбережение. Это позволит снизить финансовую нагрузку на потребителей и повысит привлекательность энергокомпаний.

Много дискуссий происходит вокруг перекрёстного субсидирования населения за счёт других потребителей. На мой взгляд, это надуманная проблема. Во-первых, по паритету покупательной способности тарифы на электроэнергию в России, в том числе и для домашних хозяйств, выше, чем в США и в среднем по миру. Во-вторых, при сложившейся несовершенной структуре энергетических рынков население и приравненные к нему потребители оплачивают передачу электроэнергии по высокому напряжению, которым они не пользуются. Исключить это можно путём организации нормального розничного рынка электроэнергии и мощности и вывести на него все ТЭЦ и распределённые источники.

В-третьих, социальные тарифы существуют во всём мире, и даже в большем размере, чем в России.



## ГЛОБАЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕ ЗАВИСЯТ ОТ КОНЬЮНКТУРНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ

— Эксперты ИМЭМО РАН просчитали, что 2025 год станет годом, когда начнётся переход к новой эпохе реформ. Как вы считаете, ждёт ли новое реформирование электроэнергетическую отрасль? Возможен ли возврат к вертикально интегрированной структуре? Каким образом должна развиваться современная энергетическая система?

— Перспективные изменения в энергетике протекают в нескольких основных направлениях — организационном, структурном, технологическом и др. Как выше я уже отметил будущее энергетики за переходом к централизованно-распределённому управлению и построению систем. Это объективная реальность, которая может обеспечить прогресс и дальнейшее органичное развитие энергетики.

К сожалению, в последние годы в нашей энергетике наметилась тенденция «ручного» управления и передача ряда функций федеральным структурам. Вот лишь некоторые примеры. Функции разработчика Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики, Схемы и программы развития электроэнергетических систем России (СиПР) переданы АО «СО ЕЭС России». Субъекты РФ и компании участвуют в этом процессе на уровне предоставления информации и обсуждения результатов. Ранее субъекты РФ разрабатывали региональные СиПРы, что повышало их ответственность и позволяло учитывать региональные особенности.

Далее, в соответствии Федеральным законом и постановлением Правительства РФ с 01.01.2025 формируется институт системообразующих территориальных сетевых организаций (СТСО), это привело к тому, что практически все территориальные сетевые органи-

зации России (82 из 89 субъектов) перешли под управление федеральной структуры ПАО «Россети».

Возможен ли возврат к вертикально интегрированной структуре? Думаю, всё возможно и, как я отметил выше, к этому есть предпосылки, но это очень болезненный, разрушительный путь, и хочется надеяться, что развитие энергетики будет происходить по цивилизованному, прогрессивному пути.

— В продолжение темы: несколько лет назад в одной из своих научных статей («Интегрированные энергетические системы: вызовы, тенденции, идеология», 2018 г.) вы сказали, что «энергетика находится на пороге смены своей парадигмы». Что это за новая парадигма? Как она поменяет энергетику? Имеет ли к этому отношение переход к интегрированной энергосистеме, о которой вы говорите в своих научных статьях?

— Глобальные трансформации, происходящие в рамках смены технологического уклада, являются объективными, они не зависят от конъюнктурных, политических или других предпочтений. К основным трендам стоит отнести такие направления, как цифровизация, распределённая генерация, участие потребителей в регулировании своего спроса, переход на безуглеродную энергетику, энергоэффективность. В перспективе технологическая инфраструктура современных энергосистем будет преобразовываться в сложную человеко-машинную систему, включающую в себя сотни тысяч различных технических элементов, взаимосвязанных между собой.

Такая трансформация энергетики предполагает повышение эффективности систем, уменьшение их негативного воздействия на окружающую среду и обеспечение доступности энергоснабжения для всех потребителей. Решение этой триединой задачи невозможно без перехода к новой технологической парадигме. Она будет основываться на достижениях информационных и телекоммуникационных технологий, широкой интеллектуализации и интеграции энергетических систем электро-, тепло-, холодо-, газоснабжения в единую кибер-физическую метасистему.

В рамках этого же глобального процесса значительно изменяются архитектура и принципы построения распределительного электросетевого комплекса. Если раньше сети только передавали энергию, то теперь они могут и передавать, и принимать её от электростанций, изменяя направления потоков энергии. Кроме того, энергокомпании должны стать более клиентоориентированными, то есть направленными на безусловное обеспечение надёжного и качественного удовлетворения запросов потребителей в электрической энергии и мощности. Это повысит инвестицион-



ную привлекательность энергопредприятий. С такой установкой энергокомпании начинают всё больше участвовать в развитии своих систем, не перекладывая эту задачу только на потребителей.

Отрасль постепенно переходит к экологически чистой энергетике, включая нетрадиционную и возобновляемую, и как промежуточный этап этого процесса — широкое применение природного газа.

В рамках всех перечисленных процессов происходит последовательный переход энергосистем к технологически взаимосвязанной интегрированной инфраструктуре электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения, газоснабжения как одно из направлений технологической трансформации энергосистем.

Процессы технологической трансформации энергетике невозможно остановить. Их можно только либо замедлить, либо идти с ними в ногу.

**— Что собой представляет интегрированная энергосистема? На каких технологических принципах она строится? И как скоро она может быть сформирована?**

— Создание новой структуры энергопроизводства на базе нескольких отдельно функционирующих энергетических (электро-, тепло-, газоснабжения и др.) систем в виде интегрированной энергетической системы (ИЭС) значительно расширяет их функциональные возможности, обеспечивает взаимозаменяемость энергоносителей и реализует синергетический эффект, обеспечивающий надёжное, безопасное, более экономичное и экологичное энергоснабжение. ИЭС представляют собой сложные инженерные системы, объединяющие в единый комплекс энерготехнологические, информационные, телекоммуникационные системы. Интеграционные процессы существуют на различных иерархических уровнях. На верхнем национальном уровне это характерно для электроэнергетической, газо- и нефтеснабжающей систем, на межрегиональном уровне к ним примыкают теплоснабжающие системы, в частности в составе теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Наиболее ярко интеграция проявляется на уровне городов и промышленных агломераций, где представлены все перечисленные выше системы.

Предпосылки интеграционной трансформации систем очевидны и обусловлены теми процессами, которые уже имеют место в энергетике. Так, традиционные и современные энергетические технологии функционально интегрируют в себе теплоэлектроцентрали (когенерационные установки), связывающие системы электро-, тепло-, холодо- и газоснабжения, альтернативные приборы использования различных видов энергии у активных потребителей, управляющих собственным энергопотреблением. Усиление

интеграции происходит в связи с широким внедрением в энергетические системы информационных и телекоммуникационных технологий, интернет-энергии. Важную роль при последовательном переходе к технологически взаимосвязанной инфраструктуре электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения, газоснабжения играют децентрализованные распределённые системы энергоснабжения, причём не только в изолированных районах.

Такие системы уже получили развитие за рубежом. «Пилоты» ИЭС внедряются в семи странах мира: Китае, Германии, Дании, Нидерландах, Финляндии, Франции и Швеции. Самый передовой проект — «Объединённые эффективные крупномасштабные интегрированные городские системы», изначально связавший Гётеборг, Женеvu, Кёльн, Лондон и Роттердам. В последние годы к проекту подключились ещё несколько десятков европейских городов.

В частности, аналогичные проекты реализуются в более 60-и городах 18-и стран. Они предусматривают интеллектуализацию систем, использование традиционных, возобновляемых и вторичных энергоресурсов, создание централизованных энергохабов (узлов) с накопителями энергии, строительство зданий с краткосрочным аккумулярованием тепла для сглаживания пиковой нагрузки.

Интеграция при производстве и потреблении обуславливает необходимость совместного рассмотрения электрических, тепловых, газовых сетей, режимов их работы, особенно аварийных, и управления ими, анализ надёжности энергоснабжения с учётом взаимосвязанности систем и т.д. Развиваемые в мире концепции Smart Grid, Smart metering актуальны и для российских систем электро- и тепло-/холодоснабжения городов и промышленных центров, локальных территорий, требующих модернизации, реконструкции и развития на основе инновационных технологий.

Единый интегрированный платёжный формат запустила Чувашская энергосбытовая компания по оплате потребляемой электроэнергии, водоотведения и водоснабжения. Этот позитивный опыт может использоваться в дальнейшем для перехода от объединения организационных структур к технологическим преобразованиям.

## С ПОВЕСТКИ ДНЯ НЕ СНИМАЕТСЯ

**— Не кажется ли вам, что в свете последних глобальных политических событий тема достижения углеродной нейтральности становится неактуальной?**

— Проблема углеродной нейтральности, а я бы отметил более широкое понимание данного вопроса как чистоты экосистемы, обеспечивает повышение

качества жизни человека и его более здоровое существование. Негативное антропогенное воздействие на экосистему — это другая сторона прогрессивного процесса индустриализации общества, поэтому для продления качественной жизни на Земле необходимо последовательно сокращать вредное воздействие на окружающую среду. Сама природа восстановить экологическое равновесие в экосистеме уже не может. Вспомним пластик, который губит животных, рыб и т.п., горы золотвалов, бытовых, производственных отходов, которые уничтожают природу, травят людей. Выбросы двуокиси углерода, бензопирена, других загрязняющих экосистему веществ — это то же самое, только невидимое, но ещё более токсичное и глобально воздействующее на экомир. Очень сложная экологическая ситуация в регионах Сибири и Дальнего Востока, где более 80 % энергетических потребностей удовлетворяется за счёт угля. Остро стоит вопрос по газификации этих территорий, тем более что оз. Байкал с его природной территорией включены в список всемирного наследия ЮНЕСКО. Есть поручение президента РФ, но оно не выполняется, со ссылкой на прогнозные ТЭБы (топливно-энергетические балансы), которые не имеют к этому никакого отношения и даже вредны, поскольку, как отмечено выше, не дают объективной оценки экономической и экологической эффективности развития экономики и социальной сферы территорий.

Сегодня в сложной геополитической ситуации острота проблемы углеродной нейтральности несколько утихла, но вместе с тем с повестки дня не снята. Ведущие страны продолжают работу по переходу к экологически чистой энергетике. Например, Китай за год вводит до 250 ГВт электрической мощности на возобновляемых источниках энергии, что соответствует мощности всей сегодняшней электроэнергетики России. На Китай, конкурирующий с США, уже прихо-

дится 60 % новых мощностей возобновляемой энергетики, а строительство огромной гидроэлектростанции в восточной части Тибетского нагорья с выработкой до 300 млрд кВт·ч значительно повысит долю чистой энергетики в стране.

В настоящее время возобновляемая энергетика обеспечивает уже 35 % мирового производства электроэнергии, и эта доля постоянно увеличивается. Рост этого сегмента обусловлен снижением стоимости технологий и текущей климатической повесткой, нацеленной на декарбонизацию.

Позитивным аспектом в этом отношении является возникновение нового вида конкуренции между энергетиками и производителями энергетического оборудования. Компании выпускают оборудование, которое позволяет потребителям самостоятельно обеспечивать себя энергией. Всё это стимулирует развитие единой информационной системы, применение технологий больших данных, облачных вычислений, а также цифровых двойников для всех технологических энергетических систем, в том числе и в составе ИЭС.

Наша страна также продолжает развивать это направление. Примечательным в этом отношении был 2019 г., когда вводы малой нетрадиционной энергетики, включая ВИЭ, превысили вводы крупной традиционной генерации энергии. В наиболее неблагоприятных по экологии городах осуществляются мероприятия согласно Национальному проекту «Чистый воздух» и т.д.

## НЕ ДОГОНЯТЬ, А ДЕЙСТВОВАТЬ С УПРЕЖДЕНИЕМ

— Вы большое внимание уделяете цифровым двойникам, акцентируя, что они полностью изменят энергосистему. А что показывает практика: всегда ли энергосистема меняется сообразно цифровому двойнику?

— Цифровой двойник имеет широкую сферу применения. Правильнее говорить, что цифровой двойник (ЦД) изменяется в соответствии с изменениями, происходящими в энергосистеме, но не наоборот. Энергетическая система изменяется в соответствии с технологическими трендами, происходящими под действием инновационных преобразований, а цифровой двойник обеспечивает более эффективное управление развитием и управлением такими системами.

Цифровой двойник — это виртуальная модель реального физического объекта, только не застывшая, а динамическая, которая развивается вместе со своим аналоговым прототипом — энергосистемой. Для их создания используются специальные программные средства, либо сканированные физические объекты в реальном мире.



Цифровой двойник является эффективным инструментом визуализации, мониторинга и управления энергетическими объектами/системами на всех этапах их жизненного цикла. Это эволюционирующая обучаемая технология, отражающая все изменения, происходящие с физическим объектом/системой, которые отслеживаются через оперативно передаваемые данные с датчиков, информацию от персонала и других источников. На уровне проектирования ЦД позволяет быстро находить и исправлять ошибки в технических решениях при их осуществлении в проекте ещё до его реализации. На уровне эксплуатации они могут оптимизировать технологический процесс, повышая его эффективность, оперативно выявлять риски потенциальных неисправностей и возможных аварий, обеспечивать предикативное планирование ремонтов, сокращая затраты на обслуживание.

По мере развития вычислительных ресурсов, появления интернета вещей, сетей 5G и выше, облачных вычислений, ChatGPT у цифровых двойников появятся новые возможности. Уверен, что в ближайшем будущем мы услышим также про «умные» цифровые двойники на основе искусственного интеллекта. Объединившись, они сформируют уже единую цифровую модель. Это заметно расширит круг задач и предоставляемых услуг. Но и в наши дни уже неоспоримо виртуальные прототипы стали ведущим трендом технологической трансформации энергетики.

Цифровые двойники активно применяются в российский энергетике, а драйвером рынка виртуальных моделей считается нефтегазовая отрасль.

На рынке цифровых двойников, исходя из инвестиционных оценок технического перевооружения и ремонта оборудования, можно отметить ГК «Росатом», ПАО «Мосэнерго», ПАО «ТГК-1», ПАО «Татнефть», ПАО «Лукойл», ПАО «РусГидро», ПАО «Квадра», ПАО «Т-Плюс», ООО «Ново-Салаватская ТЭЦ», ООО «ВО «Технопромэкспорт» и другие. Они позволяют решать не только технологические задачи оптимального распределения нагрузки, но и экономические задачи, включая поиск оптимальных режимов работы ТЭС по маржинальной прибыли, по оптимизации расхода топлива и др.

По прогнозам, уже в ближайшее время половина крупных компаний будет использовать цифровые двойники, это будет способствовать росту их эффективности ориентировочно на 10 и более процентов. Внедрение цифрового двойника в одной из крупнейших генерирующих компаний РФ позволило снизить ущерб от простоя энергоблоков более чем в 5,5 раза, а количество инцидентов на энергоблоках — почти в 3 раза.

— **Как вы относитесь к идее технологического суверенитета в энергетике?**

— Современное производство оборудования подразумевает взаимодействие экономик разных стран. Это обусловлено наличием передовых компетенций, экономической эффективностью, рыночными факторами и др. Российский рынок многие годы был связан с мировым, поэтому доля иностранных технологий, оборудования и материалов достигала у нас в разных отраслях 20–70 %. Сегодня это обернулось определёнными проблемами, связанными с прекращением поставок силовой электроники, аппаратуры автоматики, систем хранения энергии, интернет-технологий. Большим упущением является также то обстоятельство, что передовые технологии контроля и управления в энергетике основаны на разных типах интегральных микросхем с множеством взаимосвязанных компонентов, которые не производятся в России. Мы упустили созданный в своё время приоритет в производстве газотурбинных, паротурбинных (их актуальность сохраняется) установок, систем накопления энергии, технологий передачи электроэнергии, высокотемпературной сверхпроводимости, технологий энергоэффективности и т.п.

Отечественная промышленность перестраивается под новые реалии, но этот процесс требует больших затрат, времени и компетенций. Все перечисленные аспекты нужно серьёзно анализировать, определять вектор развития, оценивать последствия принимаемых решений, и здесь необходим системный научный подход. В принятых стратегических документах и национальных проектах отсутствуют проработки данных направлений, может быть, кроме развития атомной энергетики.

Важно выстроить приоритеты в развитии энергетических технологий и не догонять, а действовать с упреждением.

## АРГУМЕНТЫ И РИСКИ

— **Системный оператор разработал Генсхему размещения объектов электроэнергетики до 2042 года и СиП Р. Согласно стратегическому плану, будет введено 88,4 ГВт мощностей, а надо, по словам самого же СО, 99,1 ГВт. О чём вам говорят эти цифры?**

— В Генсхеме-2042 прогнозируются достаточно серьёзные вводы электрической мощности, которые в два и более раза превышают вводы генерации за прошедший 25-летний период и составляют более трети действующей суммарной мощности электростанций страны. Потребность в таких объёмах вводов и планируемая структура генерации как по типу, так и по мощности и их размещению требует серьёзного обоснования, которого нет в работе. Планируемый профицит

электрической мощности, заложенный в Генсхему, также необходимо аргументировать. В частности, почему резервы энергосистемы превышают пиковое потребление и достигают величины 30% суммарной мощности?

Предложения по сооружению крупных электростанций 5 ГВт и выше выглядят немного странно, особенно на фоне общемировых трендов, когда энергетика становится всё более распределённой, а спрос на крупные энергоблоки стремительно падает. Это вызывает вопрос и потому, что удельные затраты на сооружение распределённой генерации энергии приблизились к стоимости крупных электростанций.

Современные энергосистемы очень быстро трансформируются. Меняется их технологическая основа, появляются системы хранения, микросети, интеллектуальные платформы управления спросом, новые сервисы и другие новации. Энергосистемы становятся более гибкими, экономичными, клиентоориентированными. Это неизбежный процесс, как я выше отмечал, и мы его не избежим, в противном случае будем постепенно стагнировать.

Прогнозируемый рост потребления электрической мощности и энергии, а, соответственно, их производства имеет множество рисков, но в целом он связан с мировыми трендами, в которые вовлекается и наша страна. Это значительное увеличение парка электротранспорта, что, по некоторым оценкам, может привести к 40-процентному росту электропотребления. Это повышение уровня комфорта населения, связанного с увеличением количества бытовых электроприборов на семью с 25 наименований до 100, как в Японии. Это электроотопление при отсутствии альтернативных источников (Сибирь, Дальний Восток). Это создание Центров обработки данных (ЦОДы) —

нового вида энергоёмкого потребителя, что связано с процессом интеллектуализации энергосистем и различных производств, обработкой больших данных, появлением цифровых двойников. Это развитие промышленных производств, например, сооружение Богословского алюминиевого завода и т.д.

Всё это является предметом построения будущего энергосистем, которое пока не прослеживается ни в Энергостратегии, ни в Генсхеме.

— **Реальное состояние энергетики проверяется во время зимних и летних максимумов. Минувшие зима и лето показали, что в энергетике большие проблемы. Мы вошли в новый период ОЗП. Какие наиболее опасные риски просматриваются в зимний сезон 2024/2025 в региональных системах страны? Можно ли их предотвратить?**

— Эта история имеет глубокие корни. Техническая, технологическая основа, принципы построения энергетических систем России были созданы ещё в прошлом веке. С тех пор мало что изменилось. В то же время изменилась организационная структура, единые системы оказались разрозненными по множеству министерств, ведомств, компаний с различной формой собственности. Основные целевые установки по реформированию энергетики, направленные на привлечение инвестиций в обновление основных фондов электроэнергетики и сдерживание роста тарифов, оказались невыполненными. **Технологическое совершенствование, модернизация, реконструкция и развитие систем отошли на второй план.** В результате их структурно-экономического преобразования генерирующие мощности, имеющие избыток, оказались в одном месте, а спрос на них сформировал-



ся в другом месте, что при отсутствии развитого сетевого комплекса привело к дефициту электроэнергии и мощности. Обновление систем в соответствии с действующими требованиями также не выполнялось, что привело к запредельному износу систем — до такой степени, что энергокомпании уже не могут самостоятельно изменить эту тяжелейшую ситуацию, в которую они сами себя загнали. Особенно это относится к коммунальной инфраструктуре (электро-, тепло-, водо-, газоснабжение), которая всегда финансировалась и продолжает финансироваться по остаточному принципу. Этому же способствовало изменение структуры спроса на энергию: если в советское время доля нагрузки населения (и приравненных к нему потребителей) составляла 4–5 %, а крупной промышленности — более 75 %, то в настоящее время доля промышленности сократилась до 54–56 %, а доля населения и приравненных к нему потребителей увеличилась до 17 % и даже до 20 %, например, в Иркутской области. Это привело к перегрузке распределительных сетей, увеличению их аварийности, невозможности передачи дополнительной электроэнергии для подключения новых потребителей. Ситуация усугубляется появлением новых энергоёмких потребителей в виде майнинга, нелегальных видов бизнеса, существующих под прикрытием других видов деятельности.

Решение высветившихся проблем, которые существовали и ранее, необходимо разделить на текущие и стратегические. В первом случае необходимо воздержаться от планирования ремонтов в период ОЗП, что, например, в советское время было запрещено, ввести ценозависимое регулирование спросом на энергию, определиться с майнингом на правовом, законодательном уровне, что растянулось и в полном объёме не решается. Организованный майнинг можно разрешить только в энергоизбыточных регионах, а **нелегальный, бытовой майнинг в необорудованных помещениях** однозначно запретить, т.к. он нарушает нормативно-правовые требования, приводит к пожарам, повышенному шуму, повышает риски нарушения энергоснабжения населения и сдерживает развитие социально-бытовой сферы.

Разработать систему нерыночных адресных и плановых **механизмов для обеспечения приоритетного электроснабжения наиболее важных для экономики** (дающих максимальный вклад в ВВП и максимальные поступления в бюджеты всех уровней) **и государственной безопасности предприятий**, а также населения и объектов социальной сферы.

Возможно, более длительный период времени потребует для осуществления поэтапного **приведения в соответствие генерирующих мощностей, структуры и параметров электрических сетей** **возрас-**

**тающим требованиям потребителей. Необходимо обеспечить модернизацию и техническое перевооружение ЭЭС и других систем** в соответствии с фактическим износом и в дальнейшем строго выполнять это очевидное требование по обновлению оборудования, а не ограничиваться «косметическими» мерами, как это производится сейчас.

Что касается стратегических вопросов, то здесь мы должны определиться, какую энергетику мы хотим видеть в будущем с учётом всех тенденций и трендов, происходящих в мире и нашей стране, и как нам это достичь.

## О НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ

— Системный оператор обозначил три основных региона нарастающего энергодефицита: Юг России, ОЭС Сибири и Юго-Восток Сибири, куда входит ваша родная Иркутская область. Причину дефицита все видят в майнинге. Чем на самом деле обусловлен энергодефицит? Много ли в стране ещё субъектов, где формируются риски энергодефицита? С чем они связаны? Проводился ли системный анализ проблемы?

— Нарастающий дефицит электрической мощности отмечается в четырёх регионах страны: Дальний Восток, Юг Сибири, Юг Европейской части страны, а также Москва и Московская область. Причины его появления различные, некоторые из них я называл ранее. Здесь я бы отметил следующее: невыполнение намеченных планов; несоответствие прогнозов развития энергосистем реальному росту нагрузок, что связано, в том числе, с несовершенством методического обеспечения разработки стратегических документов развития энергосистем (Генсхемы, СиПРы), согласно которому в прогнозах учитываются нагрузки более 10 МВт, и др. Действующие схемы, принципы управления развитием энергосистем не соответствуют изменениям, происходящим в системах энергопотребления (изменение структуры спроса, новые быстро-возводимые энергоёмкие потребители, повышение требований к уровню комфорта) и в самой энергетике (активные потребители, распределённая генерация, повышение требований к качеству и надёжности энергоснабжения, изменение принципов построения распределительного энергокомплекса).

Основными предпосылками формирования дефицита со стороны энергосистем являются:

— разрыв установленной, располагаемой и рабочей мощности электростанций. Первый фактор нередко связан с несоответствием мощности основного и вспомогательного оборудования, а второй, как правило, с проведением ремонтов в период пиковых

нагрузок. Например, по ОЭС Сибири они соответственно были равны 54, 44, и 36 ГВт. Нагрузка составляла 32 ГВт (СиПР 2024–2029 гг.) и при этом обнаружился дефицит мощности. Это «запертая» мощность электростанций, выдача которой невозможна по причине недостаточной пропускной способности сетей (например, Усть-Илимская ГЭС, запертая мощность более 1500 МВт);

— уменьшение рабочей мощности из-за проведения ремонтных работ на энергообъектах в период ОЗП и при пиковых нагрузках. Рост электрических нагрузок в результате ввода промышленных объектов (Тайшетский алюминиевый завод), освоение месторождений золоторудных, редких и цветных металлов (Сибирь, Дальний Восток), реализация крупных транспортных проектов (восточный полигон, МТК север-юг) и др. Увеличение нагрузки населения и приравненных к ним потребителей (электроотопление, электромобили, бытовые нужды, уличное освещение и т.п.);

— появление нового высокомобильного энергоёмкого потребителя — центра обработки данных (ЦОД), в том числе для майнинговой деятельности. Срок ввода в эксплуатацию малой майнинговой фермы исчисляется часами, а большой — несколькими месяцами, что намного меньше интервалов планирования и прогнозирования в электроэнергетике;

— отставание развития электрических сетей, особенно в **распределительном электросетевом комплексе**, что даже при наличии электрической мощности не позволяет передать её потребителям. Системообразующие сети напряжением 110 КВ и выше у нас на контроле Минэнерго России, федеральных структур, а распределительный комплекс находится в ведении субъектов, где фактически нет необходимых источников финансирования, программы государственного развития этих комплексов не предусмотрены.

Системный анализ всех этих проблем, приводящих к дефициту энергии, не проводится. Обострение ситуации с авариями никто не анализирует, не обобщает, не делает выводы и не принимает решения по их предотвращению. Всё выполняется разрозненно, бессистемно, выдёргиваются отдельные вопросы, такие как, например, принятый Федеральный закон по майнингу, решение правительства РФ по снижению его воздействия на дефицит электроэнергии, переход к расчёту по дифференцированным тарифам на электроэнергию — единым для южных территорий с мягким климатом и суровых арктических, и др. Ведь для последних у нас всё решено, есть СНиПы, методические положения, но... Все понимают, что эти решения не обеспечивают требуемые результаты по ограничению майнинга, однако они вводятся в действие.

Необходимо всем перечисленным активно заниматься и принимать комплексные системные решения.

— **Как вы относитесь к решению правительства запретить майнинг в ряде регионов до 2031 года с целью снизить угрозу дефицита? Будет ли толк от такой меры?**

— Вопрос с майнингом, как и с любым другим видом деятельности, должен решаться очень просто. Бизнес существует тогда, когда есть доход, есть прибыль, в том числе и на его развитие. Здесь должен быть такой же подход. Майнинг не приносит доход в бюджет, не приносит пользу обществу, не участвует в развитии инфраструктуры, не развивает энергетику, на услуги которой он существует. Отсюда следует вывод: зачем нужен такой вид деятельности, который пользуется всем созданным обществом, а сам в это ничего не вкладывает? Высокие слова, которые высказываются со стороны защитников — платим налог на добавленную стоимость, решаем проблему занятости — ничем не подкреплены и не обоснованы. Налог на НДС платят энергокомпании, и занятость в этом секторе минимальна.

Решения, принятые относительно майнинга о запрете в период ОЗП не решают основной проблемы, связанной с уменьшением дефицита электроэнергии и подключения новых потребителей. Они лишь снижают пиковые нагрузки, снимают напряжённость работы оборудования сетей и уменьшают риск их аварийности в этот период. Заявленные майнингом мощности не могут быть переданы другим потребителям, они могут быть востребованы в любой другой период, поэтому должны быть готовы к работе.

## БУДУЩЕЕ — ЗА ЦЕНТРАЛИЗОВАННО-РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ

— **Ваш институт разработал стратегию развития Иркутской энергосистемы до 2036 года. На каких моментах был сделан акцент? При каких условиях данная стратегия выполняема? Применима ли она для других регионов страны?**

— В энергетике Иркутской области, как в стране в целом, накопилось множество вопросов, требующих своего решения. Наиболее острыми из них являются задачи, связанные с устранением физического и морального износа производственных фондов, накопленного годами из-за нарушения регламентов по их воспроизведению. Здесь мы достигли критического уровня 70 % и более. В связи с этим обострилась проблема высоких потерь энергии (до трети расходуемого топлива — непроизводительные потери), с которой также необходимо работать, причём не только на стороне потребителей, но — что важно — в системах энер-

госнабжения. Очень серьёзный вопрос, требующий неотложного решения, — нарастающий дефицит электрической и тепловой энергии (более 2 ГВт в ближайшее время). Его решение включает текущие меры и перспективные стратегические предложения. К текущим можно отнести запрет на планирование в ОЗП (пиковый период) проведения плановых ремонтов, повышение надёжности работы оборудования, введение 4-й категории надёжности с возможностью отключения потребителей на длительный срок, организация ценозависимого потребления, запрет на деятельность в пиковые периоды, как это принято сегодня для майнинга, подключение к энергосистеме распределённой генерации независимых производителей энергии. В стратегическом плане следует устранить разрыв между установленной мощностью и располагаемой мощностью электростанций, запланировать развитие сетей для ликвидации запертой мощности электростанций, а также с целью передачи избыточной мощности и электроэнергии в дефицитные регионы, модернизацию оборудования и сетей для увеличения мощности системы и, конечно, новое строительство и развитие генерации и сетей. Например, замена четырёх гидроагрегатов на Иркутской ГЭС на современные почти на 100 МВт увеличила мощность станции.

Многие проблемы дефицита электрической мощности и особенно острой для Иркутска тепловой генерации могли бы быть решены с подачей природного газа, но при наличии месторождений газа на территории области население, социальный сектор и экономика не имеют от этого ничего, а весь добываемый газ уходит в Китай. Уровень газификации области один из самых низких в стране — 1,04 %, что в условиях угольной энергетики негативно влияет на экосистему оз. Байкал и его «кладёз» пресной воды и в целом безвозвратно загрязняет окружающую среду всей Байкальской природной территории. Газовые перспективы, а вернее их отсутствие, во многом держат решение многих вопросов в неопределённости. Тяжёлые климатические условия, большая распределённость территории области, её труднодоступность усложняют решение энергообеспечения потребителей северных районов в связи с ограниченностью летнего периода, когда возможен завоз энергоресурсов. Это приводит к необходимости поиска решений по использованию местных видов топлива, возобновляемых источников энергии, при этом возникает другая проблема — нехватки квалифицированных кадров.

Иркутская энергосистема достаточно специфична, структура её генерирующей мощности включает 70 % гидроэлектростанций и 30 % тепловых, при этом все тепловые станции отпускают электрическую и тепловую энергию, их выдаваемая электрическая

энергия и мощность напрямую привязаны к производству тепла. При этом очень странным представляется решение Системного оператора ЕЭС по размещению в Иркутской области атомной станции, которая вытеснит из графика нагрузок дешёвую электроэнергию ГЭС и заместит её дорогой из-за инвестиционной составляющей атомной энергией. Кроме того, не учитывается высокая сейсмичность региона. Это свидетельствует о том, что системный анализ предлагаемых в Генсхеме-2042 решений не проводился. Наблюдая, как быстро меняются решения (например, меняют «красноярскую» АЭС на «иркутскую», «томскую»), можно предположить, что необходимые, согласно методике по выполнению таких работ, оптимизационные расчёты не проводились, исследования режимов работы энергооборудования ЭЭС с целью технической, экономической оценки вовлечения новых объектов в энергосистему, их влияние на режимы работы имеющихся станций не выполнялись.

**— По какому пути должна развиваться энергосистема России — по пути децентрализации или, наоборот, централизации энергосистем и объединения энергетики Запада и Востока страны в большую единую энергосистему, может быть, с выходом на объединение с энергосистемами сопредельных государств?**

— Все энергосистемы России строились и развивались как системы централизованного энергоснабжения для обеспечения электроэнергией, теплом производительных сил — крупных производств, освоения месторождений, строительства городов. Эффект масштаба позволял уменьшать затраты на сооружение и функционирование энергосистем. В настоящее время произошли диаметрально противоположные изменения. Широкое развитие получили распределённые (небольшие) системы и энергоисточники, предпосылки их создания отмечены выше: это доступная



стоимость оборудования, быстрая возводимость, независимость энергоснабжения, возможность им управлять, приемлемая цена энергии и др. В значительной мере этому способствуют инновационные энергетические технологии и сервисы, которые уже сегодня применяются в крупных современных городах. К ним можно отнести развитие городских микросетей с распределёнными нетрадиционными и возобновляемыми энергоисточниками, энергоэффективные здания, технологию двусторонней системы энергоснабжения между автомобилем и сетью, различные практики управления спросом активных потребителей, Интернет-энергию и др. Городские микросети, распределённые энергоисточники сегодня успешно встраиваются в централизованные электрические сети и почти всегда имеют «реверсивную» (двустороннюю) электрическую связь с ними. Это позволит решить широкий круг задач повышения эффективности энергоснабжения в современном городе: повышенный спрос на электроэнергию, переход к экологически чистой энергии, проблему локальных дефицитов, повышение надёжности городских сетей в случае стихийных происшествий и т. п.

Успешное развитие этих двух направлений позволяет говорить, что будущее отечественной энергетики — развитие централизованно-распределённых систем. К сожалению, это видение будущих систем энергетики не представлено ни Энергостратегии РФ до 2050 г., ни в Генсхеме-2042.

Минэнерго предложило расширить вторую ценовую зону оптового энергорынка (ОРЭМ), включающую Сибирь, путём присоединения к ней Дальнего Востока. Однако в условиях слабых связей между энергосистемами, неразвитости электрических сетей и при отсутствии свободных мощностей это решение представляется неподготовленным и необоснованным.

Здесь больше политика, чем экономика и техническая эффективность. Вместо того, чтобы гармонично развивать все системы, мы вновь одних пытаемся выровнять за счёт других. Конечно, в перспективе, с развитием энергосистем, с учётом инновационных технологий наиболее эффективным решением будет создание единой энергосистемы на всей территории России. Но такая система должна строиться по новым принципам. Технологически она должна быть централизованно-распределённой с реверсной передачей электроэнергии и мощности на Восток и на Запад, с учётом разницы часовых поясов, пиковых нагрузок, сосредоточения крупных центров генерации энергии. Организационно она должна иметь горизонтальное управление с передачей большинства функций управления в регионы, рыночная структура должна быть преобразована в балансирующий оптовый рынок

электроэнергии и мощности, а полноценным рынком обмена энергией должен стать розничный рынок с выходом на него прежде всего ТЭЦ, а также, возможно, и других энергоисточников выше 25 МВт. Важный акцент должен быть сделан на распределительном электросетевом комплексе. Он должен строиться по принципам системообразующих сетей с резервированием, кольцеванием, обеспечением многонаправленных потоков энергии, подключением ВИЭ, систем накопления энергии и т. п. Все потребители должны иметь гарантированное качество энергоснабжения, обладать возможностью управления своим спросом, энергосбытовая деятельность должна быть преобразована в систему биржевой торговли. Всё это должно иметь интеллектуальную основу на базе информационных, цифровых и интеллектуальных технологий.

Другим перспективным направлением развития энергетики является глобализация энергосистем путём создания межгосударственных энергообъединений. Казалось бы, оно противоположно децентрализации, но глобально это направление имеет значительный эффект в связи с неравномерным по странам распределением энергоресурсов, созданием крупных энергокомплексов (например, Гоби ТЭК, мощнейшая планируемая ГЭС в Китае и др.), многонаправленными потоками передачи энергии, уменьшением генерирующей мощности в отдельных странах и т. п. В настоящее время рассматриваются такие крупные проекты, как единое Восточное электроэнергетическое кольцо, Европейское энергоскольцо, Мировое энергетическое кольцо и др. ИСЭМ СО РАН совместно с учёными других стран проводит исследования по таким проектам с целью оценки эффективности их реализации и возможности участия в них России.

### НА СТЫКЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ПРОБЛЕМ

— **Какие задачи стоят перед российской академической наукой, а также перед ИСЭМ СО РАН в 2025 году в части исследований энергосистем?**

— Современная научно-техническая ситуация не только в энергетике, но и в других сферах характеризуется процессами перехода к новому экономическому укладу в сочетании с переходом к новому технологическому порядку. Это формирует уникальные вызовы и требования к технической политике инновационного преобразования энергетических систем, научно-методическому обеспечению задач повышения общего уровня их надёжности, качества, эффективности, энерго- и ресурсосбережения. Магистральное направление преодоления этих задач в стране и за рубежом связано с интеллектуализацией систем энергетики различного типа. Основная цель такой

интеллектуализации — гармонизация требований и возможностей поставщиков и потребителей, участвующих в процессах получения, транспорта и потребления энергии (электроэнергии, газа, тепловой энергии и т.д.). В свою очередь, ключевая задача на этом пути связана с обеспечением высокого уровня управления развитием и функционированием энергетических систем как основного способа такой гармонизации, поэтому сами системы уже должны рассматриваться как киберфизические системы.

Вместе с тем в настоящее время наблюдается очевидное противоречие между уникальными возможностями современной вычислительной техники, информационных и телекоммуникационных технологий с одной стороны, и относительно низким уровнем использования этих возможностей в реальной практике перехода к новым цифровым и интеллектуальным технологиям анализа и принятия решений при развитии и управлении энергетическими системами — с другой. В значительной мере этому препятствует отсутствие теории интеллектуализации и управления ими как кибернетическими объектами, отраслевая (нефтяная, газовая промышленность, электроэнергетика, теплоэнергетика, ЖКХ и др.) и ведомственная (государственные, образовательные, исследовательские и внедренческие организации, энергетические компании разных форм собственности) разобщённость исследований, отсутствие работ общего системного характера.

Уже скоро мы будем иметь новый энергетический объект с новыми свойствами и функциональными возможностями. Он во многом отличается от своего предшественника.

Особое значение при этом имеет междисциплинарный характер теоретических и прикладных исследований как для комплексного использования совре-

менных достижений в разных областях научных знаний (математике, технике, информатике, экономике, физике и др.), так и для эффективного освоения и широкого применения полученных результатов в различных сферах энергетики.

Очень важной сферой научной деятельности представляется энергомашиностроительная отрасль и подготовка высококвалифицированных кадров. Наука должна обеспечить теоретическим, методическим, вычислительным инструментарием практику для решения всех задач управления развитием и функционированием энергосистем будущего.

ИСЭМ СО РАН исторически занимается развитием теории системных исследований в энергетике, включая теорию создания энергетических систем, комплексов, установок и управления ими, разработку научных основ и механизмов реализации энергетической политики России и её регионов, обеспечения надёжности топливо- и энергоснабжения и энергетической безопасности. В 2025 году наш Институт отмечает своё 65-летие и встречает его значимыми общепризнанными результатами комплексных исследований фундаментальных проблем устойчивого развития энергетики страны и регионов в условиях глобальных вызовов и создания межгосударственных энергетических объединений. Теория системных исследований в энергетике на протяжении прошедших лет показала свою высокую научную значимость и практическую востребованность. Она находится на стыке фундаментальных научных проблем и позволяет успешно решать задачи технологической трансформации систем энергетики и их взаимосвязи с ТЭК. Она призвана сегодня стать базовой теорией для научных исследований высокотехнологичного развития энергетики их практических приложений.

*Вопросы задавала Людмила ЮДИНА*

