



**Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»**



**Российская Академия Наук
Объединенный научный совет РАН
«Энергетические системы и комплексы»**

УТВЕРЖДАЮ

Председатель Научно-технического совета НП «НТС ЕЭС»,
Председатель Секции «Энергетические системы и комплексы»
Объединенного Научного совета РАН
«Энергетические системы и комплексы»
д.т.н., профессор

Н. Д. Роголёв

ПРОТОКОЛ

совместного заседания Научно-технического совета НП «НТС ЕЭС» и
Секции «Энергетические системы и объекты энергетики»
Объединённого Научного совета РАН «Энергетические системы и комплексы»
на тему: «Модернизация угольной энергетики России»

10 июля 2025 г.

№ 3/25

г. Москва

Присутствовали очно: члены Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС», члены Секции «Энергетические системы и объекты энергетики» Объединённого Научного совета РАН «Энергетические системы и комплексы», представители АО ВТИ, АО «Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики», ООО «Профцемент-Вектор», АО «ССИ-инжиниринг», НИУ МЭИ, ПАО «РусГидро», НП «КОНЦ ЕЭС», ООО «ИнЭнерджи», АО «Техническая инспекция ЕЭС», Группа компаний Мечел, ООО «Интерэнерго», ООО АСКИНТЕХ, ООО «КОТЭС ИНЖИНИРИНГ», Институт Проблем Машиноведения РАН и др.

Приняли участие онлайн: Минэнерго России, ГК «Росатом», ИНЭИ РАН, ИСЭМ СО РАН, ПАО «Россети Центр», АО «СО ЕЭС», АО «Концерн Росэнергоатом», ПАО «РусГидро», ОАО «НПО ЦКТИ», ООО «Уголь-инжиниринг», Группа «Интер РАО» и др.

Со вступительным словом выступил Н. Д. Роголёв — председатель Научно-технического совета НП «НТС ЕЭС», председатель Секции «Энергетические системы и объекты энергетики» Объединённого Научного совета

РАН «Энергетические системы и комплексы», ректор НИУ МЭИ, доктор техн. наук, профессор. Во вступительном слове Н. Д. Роголёв отметил следующее.

Уголь остаётся важнейшим источником, обеспечивающим энергетическую безопасность России и надёжную поставку электроэнергии и тепла. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года устанавливает, что базой энергетики России останутся ТЭС, в том числе угольные.

На своём заседании 24 апреля с. г. мы рассмотрели технологию сжигания угля в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) при строительстве новых угольных ТЭС, представленную АО ВТИ. По итогам заседания мы рекомендовали Минэнерго России разработать проект отраслевой программы реконструкции и модернизации действующих и строительства новых угольных ТЭС до 2042 г. с применением технологии сжигания угля в ЦКС. Указанную отраслевую программу мы рекомендовали разработать как составляющую часть национального проекта развития электроэнергетики до 2042 г., о чем министр энергетики России **С. Е. Цивилев** сказал 2 апреля с. г. на экономическом форуме в г. Казани.

Сегодня мы рассматриваем основные положения Концепции плана модернизации угольной энергетики, представленной рабочей группой экспертов под руководством **А. И. Калачёва**, а также доклады, предложения которых помогут повысить эффективность программы модернизации угольной генерации.

С докладом «Концепция программы модернизации угольной генерации» выступил **А. И. Калачёв**, генеральный директор ООО «Профцемент-Вектор».

Основные положения доклада приведены ниже.

В настоящее время в РФ действует 121 угольная ТЭС. По установленной мощности (38,4 ГВт) доля угольной генерации (УГ) в стране составляет 15,1 % всех электростанций и около 25 % в топливно-энергетическом балансе (ТЭБ) тепловых электростанций. По итогам 2023 года доля УГ в общей выработке электроэнергии составила 14,3 % и около 22 % в ТЭБ ТЭС. Доля источников тепла на угольном топливе в 2023 г. в тепловом обеспечении РФ составила 29 %.

ТЭС на угле в основном расположены в Уральском (доля в ТЭБ ТЭС региона составляет около 15 %), Сибирском (доля в ТЭБ ТЭС региона — около 82 %) и Дальневосточном федеральных округах (доля в ТЭБ ТЭС региона — около 64 %).

Физический износ основных производственных фондов угольных ТЭС в указанных регионах превышает 65 %, а технология пылеугольного сжигания, применяемая на них, по своим экономическим и экологическим показателям существенно уступает передовым зарубежным технологиям сжигания углей для энергетических целей.

При текущем уровне добычи разведанными запасами угля страна обеспечена на 350 лет. В то же время объём разведанных в РФ запасов природного газа оценивается на 100 лет. Использование газа в качестве энергетического топлива внутри страны менее эффективно в сравнении с его экспортом и, тем более, с переработкой газа в продукцию газохимии.

Кризис в угольной промышленности РФ 2024 – 2025 гг. показал, что внутреннее потребление угля, связанное с тем, что доля угольной генерации в ТЭБ РФ не превышает 15,1 %, недостаточно для компенсации внешнеторговой

волатильности объёмов и экспортных цен на уголь. Необходимо ориентироваться на долю угольной генерации в ТЭБ РФ около 20 %, а это 70 ГВт, вместо 50 ГВт от 350 ГВт всей установленной мощности электростанций согласно Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года.

Рабочей группой разработана Концепция программы модернизации угольной генерации РФ, в основе которой лежат следующие положения:

- усиление роли Минэнерго России путём создания при нём департамента угольной генерации РФ с рабочим офисом по экологизации угольной генерации РФ, а также с организацией при Минэнерго России фонда развития энергетики РФ. Данные структурные органы необходимы для реализации технологической политики, обеспечивающей модернизацию угольной генерации РФ;

- изменение технологического образа угольных ТЭС как энергопредприятий, сбалансировано производящих электроэнергию, тепло и продукты попутного сжигания угля;

- повышение энергетической эффективности до уровня КПД 45 – 48 % на супер- и ультракритических параметрах пара (ССКП) а также в цикле Аллама (КПД 53– 55 %), разработка этапности модернизации и вывод из эксплуатации морально и физически устаревшего оборудования с активным использованием имеющихся в РФ технологических разработок;

- для реализации строительства угольных мощностей, особенно с критическими и закритическими параметрами пара, необходимо решать проблему качества сталей, производимых в РФ, что в свою очередь позволит разработать и усовершенствовать отечественные металлургические технологии. Поэтому развитие угольной генерации является стержневым проектом для развития целого уникального технологического комплекса в нашей стране;

- в экологической безопасности постепенно, в течении 10 – 15 лет, необходимо выйти на уровень предельных ограничения вредных выбросов, реализованных в мире с учётом российских условий;

- по утилизации золошлаковых отходов (ЗШО) необходимо выйти к 2050 г. до 100 % изучив и использовав мировой опыт с его адаптацией к российским условиям;

- декарбонизацию необходимо рассматривать только в свете повышения энергетической эффективности, поскольку повышение КПД энергоблоков на 1 % снижает удельные выбросы на 2,5 %. Захоронение CO₂ нет смысла разрабатывать в виду неэффективности данной технологии, не решающей климатических проблем, но при этом повышающей себестоимость электроэнергии на 60 – 80 %;

- необходимо провести анализ Стратегии долгосрочного низкоуглеродного социально-экономического развития России до 2050 года, Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года и Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 года с целью их синхронизации (исключения противоречий) и с учётом последних тенденций модернизации угольной генерации в мире и в РФ;

- рассматривать экологическую безопасность как механизм повышения экономической эффективности угольных ТЭС, что позволит сдерживать рост энерготарифов угольных ТЭС;
- создать систему экономических и административных стимулов для модернизации угольной генерации РФ с лидирующей ролью в этом процессе Минэнерго России как представителя государства;
- усилить профильные энергетические институты (НИУ МЭИ, Санкт-Петербургский политехнический университет, Томский политехнический университет, Новосибирский государственный технический университет, Алтайский государственный технический университет, ДВФУ и другие), отраслевые институты (АО ВТИ и ОАО «НПО ЦКТИ») для разработки национальных технологий модернизации УГ РФ и соответствующей образовательной программы;
- присвоить будущей программе модернизации угольной генерации РФ статус национального проекта, поскольку она станет мощным локомотивом развития не только энергетики РФ, но и энергетического и экологического машиностроения, металлургии и экономики страны в целом.

С докладом «Отечественные технологии кольцевой топки и безмазутного розжига пылеугольных котлов» выступил **Д. Ф. Серант**, генеральный директор ООО «КОТЭС Инжиниринг».

Основные положения доклада приведены ниже.

Котёл с кольцевой топкой

Строительство крупных тепловых электростанций с энергоблоками 500 – 800 МВт и выше связано с трудностями по созданию мощных котлоагрегатов, особенно пылеугольных. Для обеспечения высокой надёжности, экономичности и экологичности современных котлоагрегатов принимаются умеренные теплонпряжения и сравнительно низкие температуры газов в топочной камере, что при существующих традиционных конструкциях топочных устройств приводит к большим размерам всего котлоагрегата. Так высота Т-образного котла типа П-67 для блока 800 МВт, работающего на канско-ачинских углях, превышает 120 м, высота же башенного котла той же мощности доходит до 180 м.

Строительство таких зданий и монтаж крупновысотных котлов является сложной технической задачей, в результате чего сроки и стоимость строительства современных мощных тепловых электростанций существенно увеличивается. Особенно остро эта проблема стоит при проектировании и строительстве станций в районах повышенной сейсмичности.

Наряду со строительством новых крупных угольных станций важной задачей является техническое перевооружение действующих станций с заменой отработавших блоков на новое современное оборудование той же или большей мощности с использованием существующего здания главного корпуса. В этом случае применение традиционных конструкций пылеугольных котлов становится проблематичным. В связи с этим в последние годы особенно остро стал вопрос поиска новых технических решений по снижению габаритов крупных

котлоагрегатов, в частности пылеугольных. В свете решения этой проблемы представляется перспективными разработка и внедрение котлоагрегатов с кольцевой топкой.

Котёл с кольцевой топкой Е-820-13,8-560БТ был разработан группой специалистов ООО «КОТЭС Инжиниринг», АО Сибтехэнерго под руководством доктора техн. наук **Ф. А. Серанта** в соответствии с Правительственной программой создания малогабаритных котлов большой мощности. Котёл установлен на Ново-Иркутской ТЭЦ в главном корпусе, в ячейке, запроектированной ранее под котёл Е-500. Котёл рассчитан на сжигание в режиме твёрдого шлакоудаления сильно шлакующихся углей Канско-Ачинского бассейна. Принципиальной особенностью котла является кольцевая топка, представляющая собой открытую восьмигранную призматическую камеру, внутри которой по всей её высоте установлена коаксиальная восьмигранная вставка.

Более чем 25-летний опыт эксплуатации и многократно проведённые комплексные испытания котла показали:

- высокую надёжность его работы (6000 и более ч непрерывной работы);
- высокий КПД (93 – 93,7 %);
- возможность снижения высоты котла на 30 – 40 % по сравнению с котлами традиционной конструкции;
- бесшлаковочную работу при сжигании сильно шлакующихся бурых и каменных углей;
- снижение выбросов NOx до нормативных значений за счёт технологических методов;
- возможность прироста единичной тепловой мощности при проведении реконструкции и замене отработавших котлоагрегатов до 70 % и более.

Положительный 18-летний опыт работы котла Е-820 с кольцевой топкой рассмотрен и одобрен на НТС ПАО «Интер РАО» в апреле 2015 г., где была отмечена необходимость использования этой уникальной отечественной разработки при строительстве новых угольных энергоблоков большой мощности.

Технология безмазутного розжига пылеугольных котлов.

В большинстве случаев для растопки угольных блоков на ТЭЦ в России и за рубежом используются мазут, что делает процесс растопки самым неэкологичным процессом на станции. При этом за счёт использования особенностей высоковольтного разряда возможно получить надёжный инструмент воспламенения твёрдого топлива. Для этого необходим специализированный преобразователь частоты, который может обеспечить требуемые свойства высоковольтного слаботокового разряда переменного тока. Мощность таких систем варьируется от 3 до 15 кВт в зависимости от состава и объёма воспламеняемой угольной пыли, рабочее напряжение 10 000 – 15 000 В, сила тока от 0,8 до 1,5 А, частота от 10 до 15 кГц. Данная технология позволяет сформировать плазму большого объёма, обеспечивает длительный ресурс работы при компактности и более простой конструкции плазматрона в отличие от линейных плазматронов.

Предлагаемое инновационное горелочное устройство на основе электрического разряда позволяет производить растопку котлоагрегата на угле без

использования высокорекреационного топлива. Экологический эффект перехода на угольную растопку представлен в табл. 1.

Таблица 1

Количество выбросов, г/с	Штатная растопка, мазут М100	КОТЭС, каменный уголь марки Д
твёрдых выбросов	0,75	0,5
NO _x	3,454	2,95
SO _x	18,511	5,185
CO	0,02	0,01
соединений ванадия (V ₂ O ₅)	0,389	нет
ароматических соединений C ₂₀ H ₁₂	0,326	2×10 ⁻⁶
Цена, тыс. руб. за т	15,2 – 30,5	1,2 – 3

В процессе растопки допустимо использование штатных систем очистки, что даёт значительный экологический эффект. А в связи с тем, что сегодня цена на уголь в 3 – 4 раза ниже, чем на мазут, очевиден и экономический эффект использования этой технологии.

Таким образом, технология безмазутного розжига является инновационной, экономически целесообразной и энергоэффективной. Технология занесена в перечень современных технологий РФ (специальный инвестиционный контракт — СПИК), в актуализированный справочник наилучших доступных технологий НДТ и защищена рядом российских патентов.

На мировом рынке в данный момент лидируют китайские производители с горячим плазматроном. При этом у китайских компаний имеется положительный опыт с полным отказом от мазутного хозяйства на действующих ТЭС.

Сегодня российские системы безмазутного розжига имеют промышленное внедрение на ТЭЦ России и за рубежом. По всем объектам пройдены экспертизы промышленной безопасности и получены согласования от заводов-изготовителей. Использование технологии безмазутного розжига в режиме растопки котлов и подсветки факела дают в перспективе возможность полного отказа от использования мазута на ТЭС.

С докладом «Экологические технологии и комплексное решение проблем энергетики» выступил В. А. Полянский, директор Института Проблем Машиноведения РАН, доктор техн. наук, профессор.

Основные положения доклада приведены ниже.

Особенностью России является её большая территория. С этим связаны и большие транспортные издержки. Около 70 % нашей территории не подключены к централизованному снабжению электроэнергией, и их подключение далеко не всегда экономически оправдано. Имеются также значительные расходы энергии на транспортировку грузов.

Суммарная мощность только нашего парка автотранспортных средств в 20 раз превышает установленную мощность всей электроэнергетики. Перевод

автотранспорта на электрическую тягу потребует увеличения мощности электрогенерации минимум на 150 % и оснащения централизованными источниками снабжения электроэнергией очень больших территорий, которые в противном случае потеряют транспортную доступность.

Суммарный (с учётом затрат на производство оборудования) EROEI (*energy return on investment* — соотношение полученной энергии к затраченной, энергетическая рентабельность) возобновляемых источников энергии составляет около 100 %, то есть дополнительной энергии из них не получить. В перспективе разумной стратегией для энергетического комплекса России является передача нефти и газа транспорту, частным жилым домам и удалённым территориям, а угля, сланцев и твердых отходов — централизованной энергетике.

Сжигание твёрдого топлива сопряжено с несколькими проблемами: экологической, низким КПД электрогенерирующих мощностей и сильным износом имеющихся угольных ТЭС, которые, в основном, построены во времена СССР и выработали свой ресурс. Системный ответ на эти вызовы позволит не только решить проблемы, но и создать новые возможности.

Экологизация сжигания твёрдого топлива должна быть увязана с новыми технологиями сжигания и выработки электроэнергии, имеющими высокий КПД. Это позволит снизить выбросы на единицу вырабатываемой энергии даже просто за счёт роста КПД. Использование и переработка золы, очистка отходящих газов как от золы, так и от окислов азота и серы, позволят кратно снизить удельные вредные выбросы и экологическую нагрузку при росте генерирующих мощностей.

Электронно-лучевая система очистки отходящих газов

Дополнительный системный эффект может дать электронно-лучевая очистка отходящих газов, которая позволяет превратить окислы азота и серы в минеральные удобрения, и дополнительно — удалять из газовой фазы и разлагать целый комплекс загрязняющих веществ, включая диоксины и фураны.

Применение этой технологии в связке с использованием золы и увеличением КПД сжигания твёрдого топлива позволит наладить его полную переработку, что даст экономике дополнительный ресурс, позволяющий экономить другие полезные ископаемые и сократить издержки всей экономики на их переработку.

Из одной тонны удалённых с помощью электронно-лучевой очистки окислов серы получается 3,9 тонны сульфата аммония, а из тонны окислов азота — 4,7 тонны нитрата аммония, что позволяет экономить энергетические и минеральные ресурсы на синтез азотной и серной кислот, которые сейчас используются при производстве синтетических минеральных удобрений.

Системное применение вышеперечисленных мероприятий даёт возможность сделать экологизацию сжигания твёрдого топлива экономически рентабельной и снизить финансовую нагрузку на потребителей электроэнергии, так как экологические затраты входят в тариф.

Электронно-лучевая технология развивается с конца 70-х годов прошлого века, прошла апробацию на установках разной производительности, показала высокую степень очистки, низкие удельные энергозатраты на очистку и полное соответствие получаемых минеральных удобрений всем санитарным и экологическим нормам. Эта технология реализует естественный процесс

доокисления компонент дымовых газов, которое происходит в верхних слоях атмосферы под действием космической радиации, и вызывает в атмосфере кислотные дожди, а в очистных сооружениях при добавлении аммиака даст ценный продукт.

Для промышленного применения необходимо провести НИОКР по разработке и испытаниям специального оборудования, так как до настоящего времени в установках электронно-лучевой обработки (ЭЛО) использовалось оборудование, разработанное для других целей. Это касается и аммиачного хозяйства и системы сбора частиц удобрений и ускорителей электронов, которые были разработаны для радиационной обработки полимерных плёнок и покрытий, что не позволяет получить необходимого распределения мощности дозы в большом объёме отходящих газов.

Разработка оборудования для газоочистки имеет самостоятельную ценность, так как проблемы газоочистки применяются в самых разных отраслях промышленности, транспорта и городского хозяйства. Так, в мегаполисах Южной и Юго-Восточной Азии (ЮВА) существует огромная проблема смога, связанная с жарким климатом и, например в Тегеране, для борьбы со смогом используют дополнительный выходной день посреди рабочей недели. Большим экспортным потенциалом обладают и сами системы газоочистки выбросов угольных станций, так как проблема газовых загрязнений в выбросах угольных станций имеются практически в любой стране глобального Юга и ЮВА.

Проблема качества сталей

Экологизация имеет еще один важный аспект. Снижение затрат энергии на производство металла и полная утилизация металлолома привели к тому, что доля вторичного металла в новой продукции составляет по сталям от 80 до 100 %. В условиях сохранения традиционных технологий производства это приводит к резкому снижению качества продукции, что особенно критично в энергетике. Наблюдается парадоксальная ситуация, когда эксплуатация становится более щадящей за счёт широкого внедрения АСУ, а сроки эксплуатации энергетического оборудования сокращаются. Переход энергетики на сверхкритические параметры, необходимый для повышения КПД угольной генерации, вообще не обеспечен отечественным производством специальных сталей.

Системный подход к производству сталей и мониторингу их качества позволит не только увеличить экологизацию металлургии и энергетики, но и разработать технологии производства специальных сталей, которые могут стать базой для развития и внедрения нового оборудования во всех отраслях хозяйства, а также резко усилят экспортный потенциал нашей промышленности, так как проблемы с качеством сталей имеются в настоящий момент у всех стран-производителей металлопродукции.

Таким образом, последовательная экологизация угольных электростанций позволит провести модернизацию различных отраслей промышленности и обеспечить разноплановые конкурентные преимущества всей экономики России.

С докладом «Проблемы и опыт модернизации угольной генерации в РФ и в мире» выступил **М. И. Сапаров**, председатель секции «Энергоэффективность и экология в электроэнергетике» НИ «НТС ЕЭС канд. техн. наук.

В рамках обсуждения представленной Концепции программы модернизации угольной генерации РФ, представляется актуальным провести анализ отечественного и зарубежного опыта разработки концептуальных и программных документов по данной проблеме.

Отечественный опыт разработки программных документов модернизации электроэнергетики

Одним из таких отечественных документов является Концепция и основные направления охраны окружающей среды в электроэнергетике на XIII пятилетку и период до 2005 года (далее — Концепция), разработанная под руководством заместителя министра энергетики и электрификации СССР **А. Ф. Дьякова** с участием научных, проектных и производственных энергопредприятий. Результаты работы были одобрены Научно-техническим советом Минэнерго СССР (протокол заседания от 27.10.1989 № 84) и Коллегией Минэнерго СССР (протокол от 26.12.1989 № 29)

Достижение основных целей Концепции предусматривалось путём реализации государственной научно-технической программы «Экологически чистая энергетика», включавшей четыре приоритетных направления: экологически чистая ТЭС; топливо будущего; безопасная атомная станция; нетрадиционная энергетика. Намечалась разработка машиностроительным комплексом основного и природоохранного оборудования и создание в течение десяти лет головных экологически чистых энергоблоков, работающих на основных видах твердого топлива страны — кузнецком, экибастузском, канско-ачинском углях и донецком антрацитовом штыбе. Важным аспектом являлся конкурсный отбор проектов. Новые ТЭС должны были оснащаться энергетическими установками комплектно с пылегазоочистным оборудованием и средствами контроля, а их удельные выбросы — соответствовать нормативам, разработанным Минэнерго СССР и согласованными с Госкомитетом по охране природы. Намечалось освоение новых технологий сжигания топлива, очистки газов и серийный выпуск оборудования. Концепцией обосновывались не только экологические показатели, но и требования к топливным отраслям по обогащению твёрдого топлива и обессериванию мазута.

Другим документом, материалы и опыт разработки которого могут быть востребованы, является Программа модернизации электроэнергетики России на период до 2030 года (далее — Программа модернизации электроэнергетики), включающая в себя четыре основных раздела, в том числе подпрограмму Модернизация тепловых электростанций на период до 2030 года (далее — Подпрограмма) и раздел Механизмы реализации и эффективность Программы модернизации.

Основные задачи Подпрограммы: вывод из эксплуатации физически и морально устаревшего оборудования; внедрение наилучших доступных технологий (НДТ) и оборудования при строительстве новых, расширении, техническом перевооружении и реконструкции действующих ТЭС; освоение

инновационных технологий на действующих ТЭС и демонстрационных установках; использование типовых проектных решений модернизации ТЭС.

Основные приоритеты Подпрограммы: минимизация издержек производства электроэнергии и тепловой энергии; предотвращение негативного воздействия электроэнергетики на окружающую среду; максимальная унификация создаваемых энергоблоков; использование типовых проектных решений на базе серийного отечественного (лицензионного) оборудования.

Реализация Программы модернизации электроэнергетики формирует мощный инвестиционный и инновационный импульс для ключевых обеспечивающих отраслей — энергетического машиностроения, электротехнической промышленности и строительного комплекса. Развитие механизмов межотраслевого взаимодействия на базе масштабных и долгосрочных контрактов создаёт условия для освоения и серийного выпуска современных типов оборудования и оптимизации строительных работ. Это, в свою очередь, удешевляет типовые инвестиционные решения по реконструкции и новому строительству и снижает инвестиции, что способствует экономически обоснованному сдерживанию роста цен на электроэнергию для потребителей.

В Программе модернизации электроэнергетики был представлен методический подход комплексной (системной) оценки экономической (общественной) эффективности реализации предлагаемых решений. Была выполнена оценка интегрального экономического эффекта от реализации Программы модернизации электроэнергетики и частных экономических эффектов: в самой электроэнергетике; в топливных отраслях; в энергомашиностроении; электротехнической промышленности; энергетическом строительстве. Была выполнена экологическая оценка реализации Программы модернизации электроэнергетики и разработаны предложения по переходу на НДТ.

Основные результаты этапов разработки Программы модернизации электроэнергетики России были одобрены на заседаниях Научно-технического совета НП «НТС ЕЭС» 15.10.2010 и 25.02.2011 (протоколы № 5/10 и № 1/11) соответственно.

Зарубежный опыт модернизации угольной энергетики

При разработке программы модернизации и развития угольной генерации РФ важно учесть зарубежный опыт, особенно Китая и США. С 1 января 2025 г., вступил в силу закон об энергетике КНР, ряд статей которого посвящены поддержке государством научных и технологических исследований, созданию инновационного потенциала в области энергетической науки и техники, способствованию чистому и эффективному использованию угля.

Китай проводит политику вывода неэффективных угольных блоков, их замене на эффективные, контроль над выбросами. Система экологических требований к выбросам в Китае является многоуровневой и дифференцированной. Национальные стандарты устанавливают минимальный (базовый) уровень требований, который должен соблюдаться по всей стране, а местные власти имеют право устанавливать более строгие стандарты.

В США закон об энергетической политике от 2005 г. устанавливает центры аккумуляции передового опыта в области использования экологически чистых

технологий производства электроэнергии за счёт сжигания угля. Государством выделяются огромные суммы на освоение инновационных технологий сжигания угля. Представляется также важным выполнить анализ опыта США в разработке и реализации квотирования выбросов загрязняющих веществ на угольных ТЭС. Эксперимент в США оказался успешным: выбросы снизились в два раза больше запланированных и это — при неизменных тарифах на электроэнергию.

С докладом «Кислородно-топливные энергоустановки на сверхкритическом диоксиде углерода. Состояние разработок в России и за рубежом» выступил **А. Н. Роголёв**, заведующий кафедрой НИУ МЭИ, доктор техн. наук, доцент. Основные положения доклада приведены ниже.

Способы улавливания диоксида углерода на ТЭС

Предварительное сжигание. Газификация топлива в начале процесса с сепарированием углекислого газа на стадии предварительного сжигания.

Кислородно-топливное сжигание. Сжигание топлива в чистом кислороде. В результате реакции окисления образуются водяные пары и углекислый газ, который можно сепарировать термодинамическим методом.

Улавливание после сжигания. Углекислый газ улавливается из дымовых газов, уже после сжигания топлива.

Состояние разработок в мире по улавливанию диоксида углерода представлено в табл. 2.

Таблица 2

Год	Событие
2011	Получение патента на цикл Аллама
2018	Начало испытаний демонстрационной установки мощностью 50 МВт в штате Техас
2021	Успешная синхронизация установки с энергосистемой Техаса
2022	Получен опыт эксплуатации установки мощностью 50 МВт (более 1500 ч)
	Компания NET Power объявила о планах по созданию трех энергоблоков мощностью 300 МВт в штатах Колорадо, Иллинойс и Техас (США)
2023	Компания NET Power объявила о планах по созданию установок разной мощности в Азии
2026	Планируется ввод в эксплуатацию установок мощностью 300 МВт в США

Технологические схемы на природном газе и угле

Особенности кислородно-топливных энергоустановок:

- высокая энергетическая эффективность сепарации CO₂;

- низкие затраты на сжатие CO₂ перед захоронением;
- наличие затрат энергии на производство кислорода высокой чистоты (снижение энергетической эффективности на 6 – 9 %);
- существенное влияние температуры наружного воздуха на энергетические характеристики кислородно-топливной энергоустановки;
- высокий термодинамический КПД энергоустановок, сопоставимый с традиционными энергоустановками.

Состояние разработок, выполненных в НИУ МЭИ

Сопоставление габаритных размеров паровой и углекислотной турбины приведено в табл. 3.

Таблица 3

Параметр	Углекислотная турбина, 350 МВт	Паровая турбина, 300 МВт
Осевой размер, м	~3,8	21,3
Радиальный размер, м	~1,9	3,2

Замена рабочего тела с водяного пара на сверхкритический диоксид углерода позволяет выполнить турбомашину более компактной, сократив осевые размеры более чем в 5 раз и радиальные размеры практически в 2 раза.

Кислородно-топливная камера сгорания и регенератор на оксиде углерода

Нагрев рабочего тела в цикле Аллама обеспечивает снижение стоимости кислородно-топливной энергоустановки по сравнению с паротурбинной установкой. Нагрев осуществляется в более компактной камере сгорания и многопоточном регенеративном теплообменнике по сравнению с паровым котлом и развитой системе регенерации паротурбинного энергоблока. Снижаются в 2 – 3 раза габаритные характеристики основного и вспомогательного оборудования. Обеспечивается снижение стоимости кислородно-топливной энергоустановки по сравнению с паротурбинной установкой.

Сравнительный анализ характеристик энергоустановок на природном газе

Среди низкоуглеродных энергоустановок на природном газе кислородно-топливная энергоустановка обладает наилучшими характеристиками по уровню удельных капитальных затрат (1303 долл. США/кВт) и по нормированной стоимости энергии — LCOE (84 долл. США/МВт·ч). При этом электрический КПД нетто энергоблока составляет 50 – 52 %.

Сравнительный анализ технологий генерации на угольном топливе

Среди низкоуглеродных энергоустановок на угле кислородно-топливная энергоустановка обладает наилучшими характеристиками по уровню удельных капитальных затрат (2345 долл. США/кВт) и по LCOE (155 долл. США/МВт·ч). При этом электрический КПД нетто энергоблока составляет 42 %.

Сравнение традиционных и кислородно-топливных энергоустановок с улавливанием CO₂

Благодаря развитой системе регенерации, а также малым затратам энергии на сжатие CO_2 (включая сжатие потока CO_2 , удаляемого из цикла) обеспечивается высокая энергетическая эффективность кислородно-топливной энергоустановки. Благодаря сжиганию топлива в чистом O_2 и реализации термодинамического принципа сепарации CO_2 и H_2O достигается эффективное улавливание углекислого газа. Благодаря отсутствию энергетического котла, компактности турбомашин и теплообменного оборудования обеспечиваются низкие удельные затраты на создание кислородно-топливной энергоустановки. Благодаря высокой энергетической эффективности, а также низкой стоимости оборудования обеспечиваются низкие значения LCOE.

Разработана конструкция вихревого горелочного устройства, позволяющая увеличить в два раза нормальную скорость распространения пламени и увеличить предельную массовую долю углекислого газа в окислителе, при которой обеспечивается устойчивое горение до 87,2 %, что позволяет сократить количество выбросов монооксида углерода до 340 ppm.

Экспериментальные исследования горелочного устройства кислородно-топливной камеры сгорания при атмосферных условиях показали следующее:

- при коэффициенте избытка окислителя равном 1 предельная доля CO_2 составляет 0,69, при повышении коэффициента избытка окислителя до 1,45 и 1,75 предельная доля CO_2 снижается до 0,57 и 0,59 соответственно;
- затухание пламени при увеличении доли CO_2 в топливной смеси обусловлено как повышением скорости на выходе из горелочного устройства, так ингибирующим горение химическим воздействием CO_2 .

Дальнейшее развитие тематического направления:

- разработка энергоустановок с углекислотным рабочим телом на базе цикла Аллама с «нулевыми» выбросами вредных веществ;
- разработка опытно-промышленного и промышленного энергетических комплексов с углекислотным рабочим телом на базе цикла Аллама с «нулевыми» выбросами вредных веществ.

С докладом «О задачах по модернизации угольной энергетики России (по итогам заседания Комитета по энергетической стратегии и развитию ТЭК Торгово-промышленной палаты России)» выступил **Г. П. Кутовой**, заместитель председателя Комитета по энергетической стратегии и развитию ТЭК Торгово-промышленной палаты (ТПП) России, советник Группы компаний Мечел, профессор.

При подготовке заседания Комитета ТПП России по данному вопросу были использованы материалы совместного заседания Научно-технического совета НП «НТС ЕЭС» и Объединённого Научного совета РАН «Энергетические системы и комплексы» (протокол заседания от 24.04.2025 № 2/25) и Концепция программы модернизации угольной генерации РФ (разработчики — группа учёных-энергетиков и теплотехников под руководством А. И. Калачёва).

Генеральная схема размещения электростанций до 2042 года, утверждённая постановлением Правительства РФ от 30.12.2024 года № 4153-р, устанавливает, что

угольные ТЭС останутся основой энергетики России. Мировой опыт показывает, что угольная генерация имеет хорошие перспективы развития, поскольку найдены решения проблем энергетической, экономической эффективности и её экологической безопасности.

Технология пылеугольного сжигания угля является технологией середины прошлого века и по своим экономическим и экологическим показателям существенно уступает передовым зарубежным технологиям сжигания углей для энергетических целей. В КНР и Индии в настоящее время успешно работают несколько тысяч котлоагрегатов с технологией сжигания угля в циркулирующем кипящем слое, на которых сжигаются низкосортные угли и продукты обогащения углей с почти 100 % хозяйственной утилизацией золы, а концентрация загрязняющих экологию веществ — на порядок меньше работающих в нашей стране пылеугольных технологий. Эти выводы подтверждаются исследованиями, выполненными АО ВТИ в консорциуме с другими профильными организациями.

Сегодня также имеются отечественные технологии повышения эффективности сжигания угля, например в кольцевых котлах.

Варианты замещения объёма установленной мощности угольной генерации другими видами генерации (природный газ, возобновляемые источники энергии, атомная генерация и др.) потребует по экспертным оценкам около 20 трлн рублей. При этом синергетические последствия от ликвидации угольной генерации будут крайне негативны с точки зрения снижения надёжности энергоснабжения и падения энергетического суверенитета РФ. Развитие угольной промышленности и энергетического машиностроения с учётом всего комплекса социальных аспектов выгоднее вложений средств в альтернативную энергетику.

Комплексный подход к оптимальному использованию всех видов генерации должен учитывать возможности новых технологий в угольной генерации, использовании её в гармоничной структуре с другими типами электростанций.

Участники заседания Комитета ТПП России отметили, что большой перечень проблем, имеющихся в угольной генерации с учётом её дальнейшего развития в рамках энергетического комплекса требует разработки целевой государственной межотраслевой программы модернизации и развития угольной генерации РФ на перспективу до 2042 г., которая должна предусмотреть комплексные решения, источники финансирования, сроки и организационные формы реализации работ.

В обсуждении докладов и прениях выступили:

Р. М. Хазиахметов, АО «Техническая инспекция ЕЭС»; **В. Д. Буров**, заведующий кафедрой НИУ МЭИ, канд. техн. наук, профессор; **Б. Л. Марцинкевич**, главный редактор издания «Геоэнергетика»; **Г. А. Рябов**, заведующий лабораторией АО ВТИ, доктор техн. наук; **А. Н. Тугов**, заведующий отделением АО ВТИ, доктор техн. наук; **М. И. Сапаров**, председатель секции НП «НТС ЕЭС», канд. техн. наук; **А. С. Коптев**, генеральный директор ООО АСКИНТЕХ; **В. Г. Грибин**, заведующий кафедрой НИУ МЭИ, доктор техн. наук, профессор; **Н. О. Сорохтин**, главный научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, доктор геолого-минер. наук; **И. В. Путилова**, директор

научно-образовательного центра НИУ МЭИ, канд. техн. наук, доцент; **Н. Д. Роголёв**, ректор НИУ МЭИ, доктор техн. наук, профессор.

Совместное заседание отмечает следующее.

Генеральная схема размещения электростанций до 2042 года, утверждённая постановлением Правительства РФ от 30.12.2024 № 4153-р, устанавливает, что ТЭС, в том числе угольные, останутся основой энергетики России. Мировой опыт показывает, что угольная генерация имеет хорошие перспективы развития, поскольку найдены решения проблем энергетической, экономической эффективности и экологической безопасности.

В мире в настоящее время успешно работают несколько тысяч котлоагрегатов с технологией сжигания угля в циркулирующем кипящем слое (ЦКС), на которых сжигаются низкосортные угли и продукты обогащения углей. При этом выброс загрязняющих веществ меньше пылеугольных технологий. Эти выводы требуют дальнейшего подтверждения исследованиями по сжиганию низкосортных углей в котлах с ЦКС на территории РФ.

Сегодня уже имеются опробованные и подтвержденные длительной эксплуатацией отечественные технологии эффективного и экологичного сжигания угля, например в котлах с кольцевой топкой при сжигании бурых углей Канско-Ачинского бассейна. Также реализованы проекты повышения экологической безопасности угольных ТЭС путём перевода угольных котлов на систему безмазутного розжига.

Совместное заседание решило:

1. Поддержать представленную рабочей группой экспертов под руководством **А. И. Калачёва** Концепцию программы модернизации угольной энергетики России.

2. Рекомендовать Минэнерго России, Минэкономразвития России, Минпромторгу России совместно с энергетическими компаниями, производителями генерирующего оборудования и другими заинтересованным организациям разработать целевую государственную межотраслевую программу модернизации и развития угольной генерации РФ на перспективу до 2042 г. с использованием положений Концепции.

3. Рекомендовать Минэнерго России присвоить программе модернизации угольной генерации РФ статус национального проекта, поскольку она станет локомотивом развития не только энергетики России, но и энергетического машиностроения, металлургии и экономики страны в целом.

Указанную программу разработать как составляющую часть национального проекта развития электроэнергетики до 2042 г., о чём министр энергетики России **С. Е. Цивилев** сказал 2 апреля т. г. на экономическом форуме в г. Казани.

4. Провести анализ отечественного и зарубежного опыта разработки концептуальных и программных документов по данной проблеме и выработать рекомендации по их использованию в программе модернизации и развития угольной генерации РФ.

5. Целевая государственная межотраслевая программа модернизации и развития угольной генерации РФ на перспективу до 2042 г. должна предусмотреть комплексные решения, в том числе по следующим направлениям:

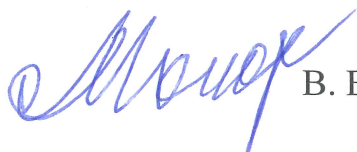
- разработать единую техническую политику модернизации угольной генерации, этапность вывода из эксплуатации морально и физически устаревшего оборудования;
- рассматривать технологический образ угольных ТЭС как энергопредприятий, сбалансировано производящих электроэнергию, тепло и продукты попутного сжигания угля;
- повысить эффективность основного и вспомогательного оборудования, действующего на ТЭС и ТЭЦ блоков на угле. Для перспективных энергоблоков на супер сверхкритических параметрах повысить КПД до 45 – 48 %, а для энергоустановок, работающих по циклу Аллама, до 53 – 55 %;
- в экологической безопасности в течение 10 – 15 лет выйти на уровень выбросов вредных веществ угольных котлов до уровней, достигнутых в мире с учётом российских условий;
- выйти на 100 % утилизации золошлаковых отходов, изучив и использовав мировой опыт, адаптируя его к российским условиям. Основным направлением утилизации золошлаковых отходов считать производство золошлаковых продуктов;
- ввести обязательное требование к новым проектам угольной генерации разрабатывать предложения хозяйственного использования золошлаковых отходов с согласованием потребителей ЗШО;
- рассмотреть возможность отказаться от захоронения CO₂ оценив экономическую эффективность данной технологии;
- провести анализ Стратегии низкоуглеродного развития РФ до 2050 года, Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года и Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 года с целью исключения содержащихся в них противоречий;
- предложить экономические и административные стимулы для модернизации угольной генерации РФ;
- устранить очевидные помехи в технических регламентах Ростехнадзора России, препятствующих внедрению новых технологий в угольной генерации, например систем безмазутного розжига, уже внесённых в ИТС НДТ 38-2022 и подтверждённых существующей практикой заводов-изготовителей в РФ;
- модернизация угольной энергетики должна основываться на комплексном подходе с разработкой оптимальной структуры всех типов генерации на территории;
- предложить технологию газификации угля как в энергетических целях, так и в составе комплексных проектов углехимии;
- для обеспечения экологической безопасности газовых выбросов угольных ТЭС разработать отечественные системы газоочистки и дать предложения по переработке и использованию продуктов (отходов), получающихся при очистке;

- рассмотреть возможность использования технологии электронно-лучевой очистки отходящих газов для комплексного решения проблемы экологизации газовых выбросов ТЭС, увеличения КПД сжигания твёрдого топлива и получения минеральных удобрений;

- с целью повышения сроков эксплуатации энергетического оборудования, повышения КПД угольной генерации, увеличения экологизации энергетики дать предложения по повышению качества сталей, производимых в РФ, и усовершенствованию металлургических технологий.

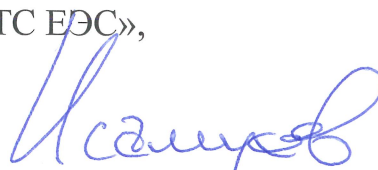
6. Оценить интегральный экономический эффект от реализации программы модернизации и развития угольной генерации РФ и частных экономических эффектов: в самой электроэнергетике, в топливных отраслях, в энергетическом машиностроении, в энергетическом строительстве.

Первый заместитель Председателя
Научно-технического совета
НП «НТС ЕЭС»,
д.т.н., профессор



В. В. Молодюк

Ученый секретарь
Научно-технического совета
НП «НТС ЕЭС»,
к.т.н.



Я. Ш. Исамухамедов