

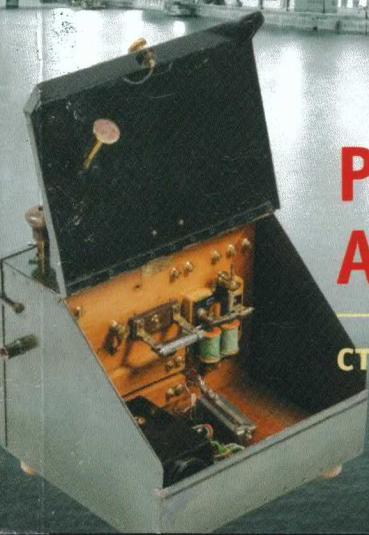
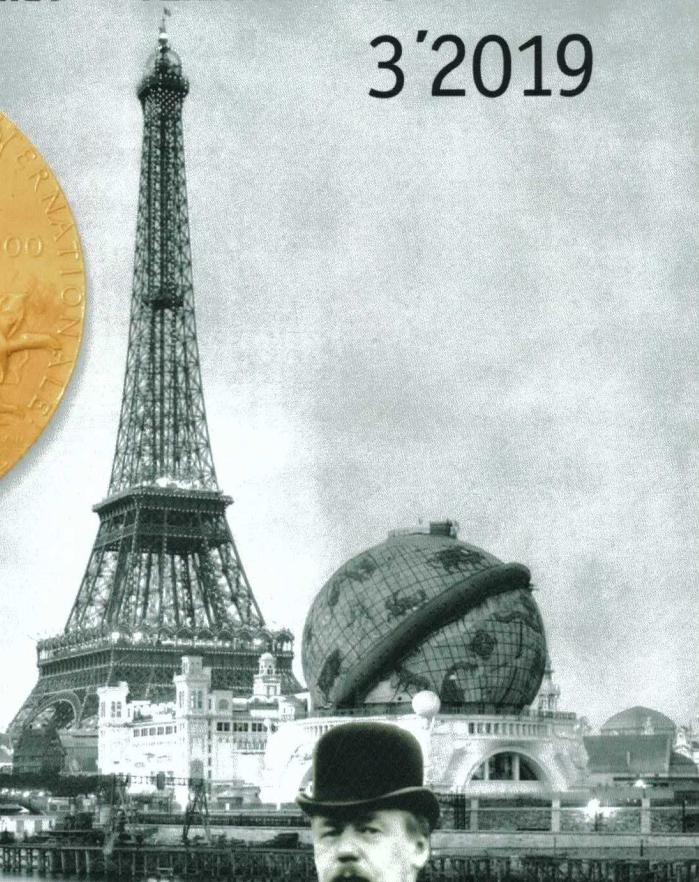
*Нам
35 лет!*

ISSN 0233-3619

ЭНЕРГИЯ ENERGY

ЭКОНОМИКА · ТЕХНИКА · ЭКОЛОГИЯ

3'2019



**Радиоволна
Александра Попова**

стр. 33

Индекс 71095

ЭНЕРГИЯ ENERGY

ЭКОНОМИКА · ТЕХНИКА · ЭКОЛОГИЯ

3'2019

Ежемесячный научно-популярный
и общественно-политический
иллюстрированный журнал
Издаётся с января 1984 г.

© Российской академии наук, 2019 г.
© ФГУП «Издательство «Наука»
© Составление. Редколлегия журнала
“Энергия: экономика, техника,
экология”, 2019 г.

2

И.Р. ДУБРОВИН, Е.Р. ДУБРОВИН

Виноват ли бензин в глобальном загрязнении
атмосферы

12

А.Н. КОСАРИКОВ, Н.Г. ДАВЫДОВА

Атомная энергетика для преодоления
климатических ограничений экономического
развития

17

С.М. НИКИТЕНКО, М.А. МЕСЯЦ,
Е.С. ПОЛТАВЦЕВА, В.А. ЛЕБЕДЬ

Интеллектуальные ресурсы как потенциальный
актив инновационного развития экономики

24

Ю.П. КОЖАЕВ, Л.П. ВЕРЁВКИН

Российское бизнес-образование:
теория и практика

33

Андрей МОРОЗОВ

Радиоволна Александра Попова

39

Гроссмейстер радиотехники

44

ПРЕСС-КЛИП

46

Г.А. ГУХМАН

Действующие меры политики.
Опыт применения и извлечённые уроки

50

В.М. МЕЛЬНИКОВ

Слово об отце
(К 100-летию со дня рождения
Михаила Васильевича Мельникова)

57

М.А. ХАРЬКИНА

Экологическая геодинамика
и массивы песчаных грунтов

64

А.Г. ВАГАНОВ

Как история может стать
экспериментальной наукой

67

Искусственные мышцы
завоёвывают мир

72

Как защититься
от короткого замыкания

76

Высокое искусство
Прокудина-Горского



Москва
2019

Журнал издаётся под руководством
Президиума Российской академии наук

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Доктор экономических наук А.Н. КОСАРИКОВ,
кандидат технических наук Н.Г. ДАВЫДОВА
(АНО "Институт консалтинга экологических проектов")

DOI: 10.7868/S0233361919030029

Купирование роста эмиссии парниковых газов в период интенсивного увеличения энергопотребления перед переходом к постиндустриальному энергетическому насыщению достигается расширением сектора атомной энергетики до 40–45% в мировом энергобалансе. Представлен сравнительный анализ состояния и перспектив безэмиссионных источников энергии, дана оценка объёма инвестиций, необходимых для реализации ориентированной на обеспечение климатической стабильности реструктуризации глобального баланса энергопотребления.

Переход к постиндустриальному развитию для развивающихся стран связан с преодолением экономического барьера и ускоренным ростом потребления энергии. Интенсивное усиление спроса на энергию переходного периода создаёт реальную угрозу превышения допустимого по климатическим показателям уровня глобальной эмиссии парниковых газов. Период динамичного роста энергопотребления (примерно до середины века, до входа в режим постиндустриального энергонасыщения крупнейших развивающихся стран, в том числе Китая и Индии) является исторически ответственным за становление архитектуры энергопотребления и генерации, соответствующей условиям долгосрочного обеспечения климатической стабильности. Критически необходимо обеспечить сокращение до 50% среднегодовых

показателей подушевых выбросов парниковых газов (ПГ). Такое требование в условиях роста с экономикой энергопотребления стимулирует развитие и конкуренцию безэмиссионных технологий энергогенерации.

Анализ взаимосвязей экономического развития, энергопотребления и современных технологий энергогенерации позволяет оценить параметры и реализуемость структур глобального энергобаланса, отвечающих условиям сохранения климатической устойчивости.

Формирование энергосетей на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), ветровых и солнечных генераторов электроэнергии принципиально связано с решением технологических и организационных задач управления объединением локальных источников генерации. Надёжность и гибкость стандартизированного энергоснабжения потребителей при выходе энергоструктуры на ВИЭ за локальный уровень энергоснабжения должна обеспечиваться созданием и внедрением в энергоснабжение сети мощных энергонакопителей, выравнивающих неравномерности и разрывы генерации – "smart" сеть для централизации структур энергогенерации на ВИЭ.

В настоящих условиях и в среднесрочной перспективе в ряду возможных вариантов создания глобальной сети базовых центров безэмиссионной генерации энергии атомная энергетика наиболее адаптирована к сложившейся централи-

зованной системе потребления и сетевого транспортирования электроэнергии от крупных центров энергогенерации к потребителям. Достаточность ресурсного обеспечения крупномасштабных базовых структур атомной энергетики прогнозируется на сотни лет для промышленных технологий замкнутых ядерных топливных циклов¹, функционально объединяющих реакторы на тепловых и быстрых нейтронах.

Возможности радикального сдерживания роста глобальной эмиссии ПГ связаны с осуществлением (в период выхода развивающихся стран в постиндустриальный этап развития) паритетной с углеводородной энергетикой структуры базовых атомных станций энергоснабжения и развитием сектора ВИЭ (преимущественно для условий локального энергопотребления).

Динамика энергопотребления и парниковой эмиссии

На индустриальном этапе перехода к постиндустриальной экономике потребление энергии линейно сопровождает рост ВВП. Возникают условия для принципиальных экономических и технологических инноваций. В числе приоритетов научноёмкие технологии, определяющие опережающее развитие и эволюцию всего спектра сферы услуг: в образовании, здравоохранении, управлении.

Изменения в энергетическом сопровождении и объемах выбросов ПГ процесса выхода в постиндустриальный период прослеживаются распределением статистических показателей в зависимости от уровня подушевого ВВП².

Линейную регрессионную аппроксимацию участка роста энергопотребления с подушевым ВВП в интервале от 1 до 20 тыс. долл./чел. в год характеризует коэффициент линейной регрессии $K \approx 0.125$ т н.э./тыс. долл.

¹ Trend towards sustainability in the nuclear fuel cycle/ NuclearEnergy Agency, OECD, Paris, 2011.

² BP Statistical Review of World Energy 2014. URL: http://www.bp.com/content/dam/bp/global/www/economics/Emissions_Gap_Report,_UNEP,_2015.

Постиндустриальное доминирование услуг в структуре ВВП соответствует достижению ВВП 20–22 тыс. долл./чел. На этом экономическом интервале сектор услуг достигает 55–60% в ВВП и рост энергопотребления и эмиссии ПГ отстает от темпов экономики. Основной особенностью является переход в режим энергетического насыщения³, отсутствие роста объемов энергопотребления с дальнейшим увеличением уровня ВВП.

При сохранении современных темпов экономического развития можно прогнозировать, что к середине века практически все основные страны-энергопотребители (свыше 60% мирового населения) будут обладать постиндустриальной структурой и уровнем экономики.

Линейное регрессионное моделирование позволяет аппроксимировать уровень подушевого энергопотребления для постиндустриального периода постоянным значением ~3.8 т н.э./чел. год (среднеквадратичное отклонение в пределах 16%) для стран-энергопотребителей с подушевым ВВП более 22 тыс. долл./чел. год.

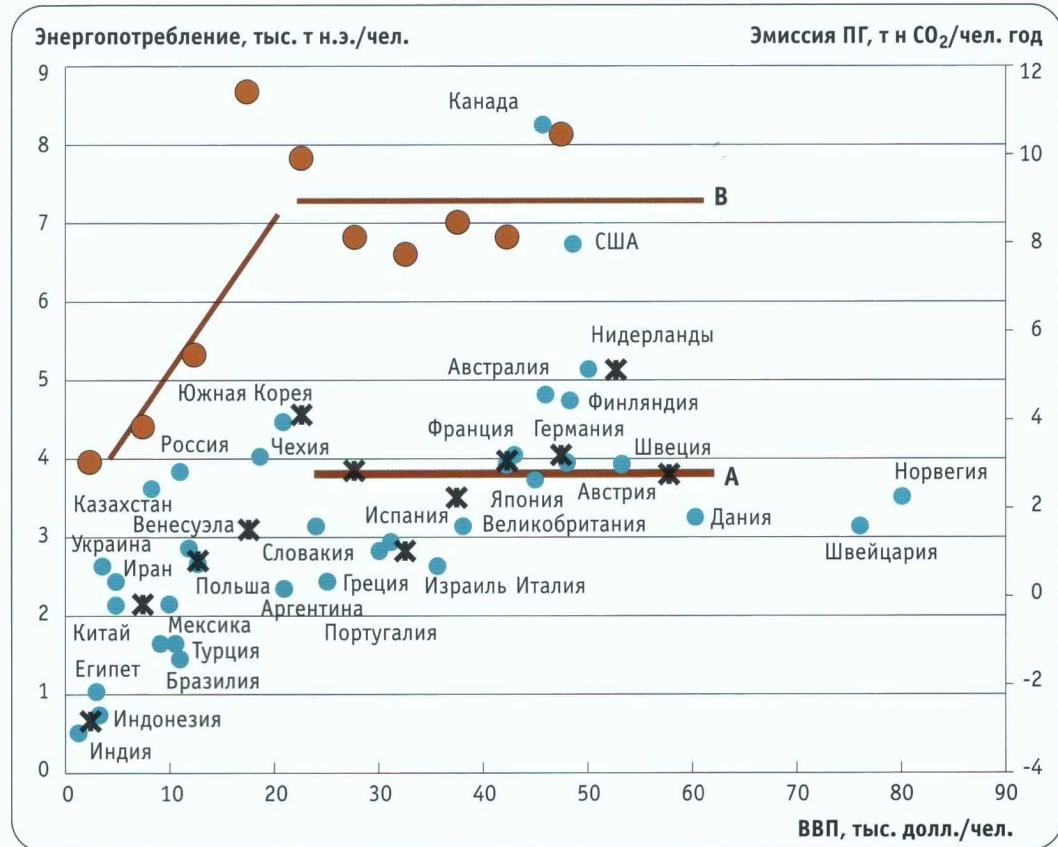
Глобальная стабилизация потребления энергии связана и со снижением темпов воспроизводства населения, характерным для постиндустриальных стран. На планирование семьи влияет рост финансовых издержек и времени на обучение для получения квалификации, гарантирующей в постиндустриальных условиях повышение или сохранение уровня жизни при смене поколений.

С учётом представленных оценок и прогнозируемой⁴ стабилизации численности населения на уровне 8–8.5 млрд чел. вероятный объём глобального энергопотребления составит около 19–21 Гт (гигатонн) в нефтяном эквиваленте, то есть практически удвоится в сравнении с глобальным энергопотреблением настоящего времени.

Показатели эмиссии ПГ следуют за изменениями энергопотребления с ростом экономики с учётом структурных особенностей.

³ Косариков А., Гежес П. Динамика энергопотребления при переходе к постиндустриальному этапу развития // Общество и экономика. 2017. № 10.

⁴ ООН: Прогноз численности населения мира. URL: <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.html>



A – Распределение подушевых показателей и регрессионная модель энергопотребления (тыс. тн н.э./чел. год).

В – регрессионная модель изменений объема эмиссии ПГ.

Значками (*) для энергопотребления и (*) для объемов ПГ отмечены средние значения, отнесенные на жителя в странах с различием подушевых ВВП в пределах, выбранных для усреднения шагов – 5 тыс. долл./чел.

ностей энергобаланса потребления разных стран (рис.).

Минимизация по среднеквадратичному отклонению позволяет принять постоянное значение эмиссии – 9.2 т CO₂/чел. год в качестве линейной регрессионной модели при подушевых значениях ВВП, превышающих 22 тыс. долл./чел. год. Качество такой аппроксимации характеризуется уровнем среднеквадратичного отклонения усредненных показателей эмиссии ~12%.

Для сохранения климатической стабильности, сдерживания глобального потепления в границах 2 °C необходимо ограничение к середине века объема глобальной парниковой эмиссии примерно на уровне 21...23 Гт CO₂⁵. С учётом прогнозируемой численности населения и перехода в группу постиндустриальных стран до 60% мирового населения предельному для стабилизации климатических процессов значению глобального объема парниковой эмиссии соответствует уровень подушевых выбросов ПГ 4.5...4.8 т CO₂/чел. год, примерно вдвое меньше современного.

При граничном условии сохранения энергетической достаточности для постиндустриального экономического развития перспективы выхода к 50-м годам

⁵Emissions Gap Report, UNEP, 2015; Косариков А.Н., Кокорин А.О. Влияние постиндустриальных процессов на мировую энергетику и выбросы CO₂ // Экономические стратегии. 2017. № 10.

на расчётный уровень парниковых выбросов, обеспечивающий климатическую стабильность, связаны с последовательным расширением до 40–45% сектора безэмиссионных энергоисточников.

Атомная энергогенерация и декарбонизация энергобаланса

Развитие энергетики при сохранении сложившейся структуры энергобаланса в условиях динамичного роста энергопотребления переходного периода ограничено предельным для климатической стабильности уровнем парниковой эмиссии. Эксплуатационная совместимость атомной энергогенерации с традиционными энергоисточниками на основе ископаемых углеводородов создаёт приоритетные условия расширения сектора АЭС в целях декарбонизации глобального энергобаланса.

Для иных видов безэмиссионной энергогенерации обеспечение потребителей надёжным непрерывным энергоснабжением стандартного качества в настоящее время связано с радикальными изменениями сложившейся инфраструктуры распределения и потребления энергии.

Системное и масштабное использование ВИЭ, конвертирующих солнечную, ветровую и гидроэнергию, ведёт к раздроблению сетевой инфраструктуры. Сопровождение энергогенерации ВИЭ структурой сетевых энергонакопителей становится основным средством поддержки распределённой энергетики, условием выравнивания графика подачи мощности, обеспечения стабильности работы сетей, начиная с доли ВИЭ в энергобалансе в 15–20%.

На объём капитальных вложений в единицу установленной мощности существенно влияет выбор структуры, масштаб и комплектация проекта. Особенность конкретизация деталей сказывается на подвижности стоимостных оценок возобновляемых источников энергии. Обобщённые оценочные показатели, полученные на основе опубликованных обзоров ИНЭИ РАН и анализа коммерческих публикаций, представлены в таблице.

В сравнительной оценке инвестиционных затрат для ТЭЦ на углеводородах для конкретного приложения необходимо учитывать и, как правило, сопоставимые с расходами на строительство непосредственно генерирующих станций издержки на формирование логистической инфраструктуры снабжения топливом: порты, железные дороги, трубопроводные транспортные магистрали.

Возобновляемые источники энергии: солнечные и ветровые энергогенераторы широко применяются для локально-го энергоснабжения. Реализация потенциала ВИЭ для сетевого использования сдерживается необходимостью формирования активно адаптивных систем (Smart Grid) на основе мощных сетевых накопителей энергии. Эта практика удваивает (см. табл.) инвестиционную стоимость установленной единицы мощности. Необходимость внедрения мощных сетевых накопителей определена требованием к устойчивости и качеству энергопотребления. Ограничивающим фактором применения ВИЭ в качестве базовых для сетевого использования является предельный ресурс перезарядки современных аккумуляторов для мощных накопителей. Регламентное время замены наиболее эффективных литий-ионных

Оценка стоимости единицы установленной мощности

Типы генерации	АЭС	Газовые ТЭС	ТЭС на угле	Ветровые ЭС	Солнечные ЭС	Сетевые энерго-накопители
Стоимость (руб.) единицы установленной мощности (кВт)	110 000	40 000	70 000	50 000 – 70 000	70 000 – 100 000	70 000 – 130 000

аккумуляторов – период до 5 лет работы в сетевых структурах энергопотребления.

Уровень вкладов атомной энергетики в энергобаланс стран – основных энергопотребителей определяется особенностями энергетической политики и экономическим потенциалом. В ряду ведущих по установленной мощности АЭС стран – крупных энергопотребителей, доля атомной энергетики в энергобалансе составляет: 40% во Франции, 11% в Южной Корее, 8% в США, 6% в России, 1.5% в Индии и около 1% в Китае. В глобальном объёме тепловой и электрической энергии доля атомной энергетики около 5%, в электrogенерации ~10.9%. Усиление атомного сектора энергетики в период благоприятной конъюнктуры динамичного роста энергопотребления в крупнейших развивающихся странах представляется технологически подготовленным, освоенным промышленностью направлением сдерживания техногенной парниковой эмиссии на переходном этапе.

Решение стратегической задачи долговременного, на сотни лет, ресурсного обеспечения глобальных структур энергопотребления на базе атомной энергетики практически реализуется в сетевых комплексах замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), технологически объединяющих реакторы на быстрых и тепловых нейтронах. Начало промышленной эксплуатации крупных комплексов ЗЯТЦ с практически полным использованием делящихся материалов природного урана в энергетических сетях России, Франции, Японии и Индии прогнозируется в период 2020–2025 гг.

Снижение объёмов техногенной эмиссии ПГ (рассчитанное по климатическим показателям на период до середины века) в два раза на душу населения представляется реализуемым с трансформацией глобального энергобаланса к следующему формату:

- 40% традиционная система электрогенерации на углеводородном ископаемом энергосыре;
- 40% сеть базовых комплексов атомной энергетики;

- 20% солнечные, ветровые ВИЭ, малые ГЭС, охватывающие преимущественно нишу локального и пообъектного энергоснабжения.

Увеличение доли атомной энергетики до 40% в мировом энергобалансе соответствует введению установленных мощностей АЭС примерно в объёме 2300 ГВт. Такой рост мощности атомного энергоснабжения обеспечит необходимое по климатическим оценкам снижение парниковой эмиссии и потребует привлечения в развитие сектора атомной энергетики до середины века инвестиций ориентировано в объёме 7.5–8 трлн долл. (около 10% современного уровня глобального ВВП). Технологическая программа атомной декарбонизации мирового энергобаланса реализуется трансфертом современных атомных энергетических технологий в развивающиеся страны с высокими темпами экономического развития.

Выходы

Состояние, перспективы и ресурсный потенциал развития атомной энергетики отвечает условиям реструктуризации глобального энергобаланса с расширением сектора атомной энергетики до 40%.

Распределённая электрогенерация на основе ВИЭ наиболее продвинута в сфере локального: территориального и пообъектного энергоснабжения, и с учётом экономически доступных современных технологий соответствует условиям обеспечения более 20% возрастающего на переходном этапе энергоспроса.

Архитектура энергобаланса на основе паритета секторов АЭС и углеводородных ТЭЦ способна обеспечить базу устойчивого, непрерывного энергоснабжения переходного и постиндустриального этапов развития с достижением двукратного сокращения подушевых выбросов парниковых газов до 4.5–4.8 т CO₂ экв. и сдерживанием глобальных объёмов парниковой эмиссии на уровне 21–23 Гт CO₂, соответствующем предельному для климатической стабильности, – ограничению глобального потепления в интервале до 2 °C.