

# Ядерная энергетика – ключ к решению проблемы глобального потепления

**Борис ГАБАРАЕВ**

**Екатерина МУХАНИНА**

**Г**лобальное потепление нижнего слоя земной атмосферы стало одной из самых обсуждаемых тем на Земле.

Не будучи специалистами в соответствующей области знаний, авторы далеки от профессионального участия в этих обсуждениях и не примыкают ни к сторонникам, ни к противникам теории парникового эффекта, которому приписывают устойчивый рост средней температуры приповерхностного слоя атмосферы нашей планеты.

Тем не менее если с какой-то даже небольшой вероятностью опасениям сторонников данной теории суждено сбыться, то это может стать причиной серьезной тревоги обществу.

Естественное беспокойство правительств за судьбы своих граждан нашло место практически во всех государствах мира, поэтому климатическим проблемам и путям их решения уделяется много внимания.

---

**ГАБАРАЕВ Борис Арсентьевич** – доктор технических наук, профессор НИУ МЭИ, старший научный сотрудник, Заслуженный энергетик Российской Федерации, научный руководитель по научно-технической информации АО «НИКИЭТ». *E-mail:* boris-gabaraev@yandex.ru

**МУХАНИНА Екатерина Михайловна** – ведущий специалист отдела международных проектов АО «НИКИЭТ». *E-mail:* mukhanina@nikiet.ru

**Ключевые слова:** глобальное потепление, климатические проблемы, возобновляемые источники энергии, ядерная энергетика.

## Климатические проблемы и их последствия

Проблему изменения климата необходимо рассматривать с двух сторон: с одной стороны, оно представляет собой безусловную угрозу, в силу чего экологи относят его к проблемам высокой степени экологической, экономической и социальной опасности, а с другой – они же отмечают, что процесс изменения климата носит эволюционный характер и развивается достаточно медленно.

Например, потепление, наблюдаемое в прошлом веке, может смениться похолоданием в аналогичных температурных рамках и временных промежутках, что подчёркивает цикличность этих процессов.

Однако естественные климатические колебания, происходившие в прошлом, несопоставимы с текущими изменениями как по скорости роста температуры, так и по масштабу глобальных последствий. Об этом говорят климатические модели, которые не могут объяснить наблюдаемые явления без учёта влияния человеческой деятельности. Исследования показывают, что антропогенные факторы играют ключевую роль в современных климатических изменениях.

Главными источниками выбросов диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) признаны тепловые электростанции и транспорт (наземный, морской и воздушный)<sup>1</sup>.

Сущность парникового эффекта заключается в поглощении этими газами длинноволнового (инфракрасного) излучения, исходящего от Земли, и повышении за счёт этого температуры в тропосфере с одновременным охлаждением стратосферы<sup>2</sup>.

Оценки многих учёных свидетельствуют о том, что перегрев земной атмосферы более чем на 2 °С может вызвать необратимые катастрофические изменения климата, угрожающие самому существованию человеческой цивилизации<sup>3</sup>.

Изменение климата влечёт за собой множество негативных последствий:

- повышение температуры на 1 °С способно вызвать снижение урожайности трёх ключевых сельскохозяйственных культур – пшеницы, риса и кукурузы – на 10%<sup>4</sup>;

- таяние ледников, повышение уровня моря и учащение наводнений и ураганов увеличивают риски для прибрежных зон, делая их более уязвимыми к природным катаклизмам;

- дефицит пресной воды, вызванный в основном ростом населения и экономическим развитием, становится всё более острой проблемой для многих регионов мира;

- изменение облика планеты и сокращение биоразнообразия. Со-

<sup>1</sup> Kaplienko A.V., Gabaraev B.A., Cherepnin Yu.S. Potential role of nuclear power in a carbon-free world // Nuclear Energy and Technology. 2024. № 10(2). P. 89-96.

<sup>2</sup> Бондаренко Л.В. Глобальное изменение климата и его последствия // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2018. № 2. С. 84-92.

<sup>3</sup> Kaplienko A.V., Gabaraev B.A., Cherepnin Yu.S. Potential role of nuclear power in a carbon-free world.

<sup>4</sup> Бондаренко Л.В. Глобальное изменение климата и его последствия.

гласно некоторым исследованиям, к середине XXI в. может исчезнуть до половины всех видов растений, что приведёт к необратимым изменениям в экосистемах<sup>5</sup>;

– рост частоты гидрометеорологических природных катастроф: наводнений, засух, волн тепла и холода, ураганов и штормов. Изменение климата угрожает функционированию многих экосистем.

В ряде стран подъём уровня океана может привести к затоплению и подтоплению низменных прибрежных территорий, повышению частоты наводнений и увеличению площади затопляемой территории, разрушению сооружений береговой защиты и т. д. Потепление климата также будет сопровождаться повышением температуры многолетнемёрзлых пород и деградацией криолитозоны, к которой относится значительная часть территории России<sup>6</sup>.

Глобальное потепление также окажет влияние на социальные процессы. Трансформация климата Земли и экономические проблемы могут привести к появлению большого числа беженцев.

Сегодня, по данным ООН, в мире насчитывается около 25 млн беженцев из-за экологических катастроф («экологические беженцы»/ «экологические эмигранты»).

Изменение климата способно повлиять на режим речного стока, увеличивая вероятность крупных наводнений. Ожидаются и другие негативные последствия, такие как повышение уровня грунтовых вод и заболачивание территорий, что может спровоцировать рост числа аварийных ситуаций на подземных сооружениях, включая шахты. Особенно серьёзные последствия прогнозируются для северной части России. Оттаивание мёрзлых пород способно увеличить количество техногенных катастроф из-за разрушения зданий, сооружений и повреждения инфраструктуры<sup>7</sup>.

Глобальное изменение климата может представлять угрозу для России. Геостратегические перемены и появление новых экономических интересов повышают риск возникновения конфликтов, обусловленных борьбой за контроль над энергоресурсами в связи с возможным доступом к углеродным ресурсам в Арктике.

## Климатические саммиты ООН и эволюция отношений к ядерной энергетике

**П**равительства подавляющего большинства государств – членов ООН уже признали проблему глобального потепления и опасность реализации связанного с

ним катастрофического сценария развития экстремальных природных явлений. Ежегодно проводятся Климатические саммиты ООН, на которых рассматривают выпол-

<sup>5</sup> Бондаренко Л.В. Глобальное изменение климата и его последствия.

<sup>6</sup> Анисимов О.А., Нельсон Ф.Э., Павлов А.В. Прогнозные сценарии эволюции криолитозоны при глобальных изменениях климата в XXI веке // Криосфера Земли. 1999. Т. 3. № 4. С. 15-25.

<sup>7</sup> Там же.

нение Парижского соглашения (2015 г.) об ограничении глобального потепления в пределах 1,5 °С и обсуждают пути декарбонизации деятельности человека, источники соответствующих финансовых затрат, помощь развивающимся странам коллективного Юга со стороны развитых стран.

Обсуждения проходят на фоне сильной поляризации интересов государств.

Так, например, против предложения Европейского союза об отказе от ископаемого топлива активно возражают государства, экономика которых во многом базируется на экспорте углеводородов. Они согласны максимум на осторожное положение о «постепенном снижении потребления ископаемого топлива».

Другие страны, такие как, например, Китай, не смогут при всём своём желании быстро отказаться от потребления угля, на который приходится 25% всех железнодорожных перевозок страны.

Российская Федерация предлагает рассматривать природный газ как переходное топливо со сравнительно меньшим вкладом в неизбежную пока карбонизацию земной атмосферы.

Даже в Федеративной Республике Германия, окончательно закрывшей вопрос с ядерной энергетикой под давлением «зелёных», бизнес на фоне политического отказа от дешёвого российского газа и высоких цен на американский сжиженный природный газ начинает задумываться о возвращении

к использованию угля, чтобы сохранить конкурентоспособность своей продукции.

Так какой же выход видится из этой ситуации?

Самый ожидаемый ответ – возобновляемые источники энергии (ВИЭ):

– солнечные электростанции (СЭС);

– ветровые электростанции (ВЭС);

– гидроэлектростанции (ГЭС).

Особенно большое внимание инвесторов при поддержке государства получают СЭС и ВЭС. Но помимо этих практически безуглеродных технологий генерирования электрической энергии существует ещё одна технология – ядерная энергетика, тоже с очень низким выбросом парниковых газов.

В поисках ответа на вопрос, является ли ядерная энергетика решением проблемы изменения климата, можно отметить, что прогнозы различных авторитетных международных организаций по генерации электрической энергии практически всегда оказывались значительно ниже действительных значений<sup>8</sup>.

По их оценкам, в 2033 г. суммарная генерирующая мощность АЭС достигнет максимума ~ 452 ГВт (эл.), а затем снизится к 2040 г. до ~ 430 ГВт (эл.). В результате они приходят к выводу, что «вклад ядерной энергетикой в смягчение изменения климата очень ограничен и таковым останется (на уровне 2–3% от общемирового выброса парниковых газов). Более того, она не сможет стать основным источником выра-

<sup>8</sup> *Muellner N., Arnold N., Gufler K. [et al.]. Nuclear energy – The solution to climate change? // Energy Policy 2021. № 155. P. 1-10.*

ботки электрической энергии в мире»<sup>9</sup>. Далее следует парадоксальная рекомендация о целесообразности поэтапного отказа от ядерной энергетики с учётом её негативных особенностей (ограничение по ресурсу изотопа урана-235, составляющего всего лишь 0,72% от количества природного урана, риск тяжёлых аварий, ядерное распространение, радиоактивные отходы и т. п.).

Своеобразным возражением этому приговору ядерной энергетике, вынесенному австрийскими учёными, послужила статья, принятая авторитетнейшим международным журналом *Nuclear Energy and Design* в самом разгаре антироссийских санкций, что уже говорит об аргументированности позиции её российских авторов<sup>10</sup>. По мнению авторов, современная ядерная энергетика с присущими ей недостатками действительно не совсем оправдывает связанные с ней ожидания, но одновременно привели информацию об успешной разработке инновационной ядерной энергетике с быстрыми реакторами в замкнутом ядерном топливном цикле, использующими тяжёлый жидкометаллический теплоноситель.

Эта энерготехнология предлагает решение топливного ресурса, вовлекая в процесс генерации электрической энергии изотоп урана-238, содержание которого в природном уране равно 99,27%, исключает риск тяжёлых аварий и позволяет

трансмутировать наиболее опасные долгоживущие отходы с периодом полураспада порядка десятков тысяч лет, превращая их в изотопы с периодом полураспада порядка сотен лет и снижая тем самым опасность высокоактивных радиоактивных отходов. Кроме того, в работе отмечено, что конструкция используемых в данной энерготехнологии реакторов на быстрых реакторах обеспечивает высокий уровень безопасности соответствующих АЭС и исключает наработку избыточного плутония, отвечая требованиям ядерного нераспространения.

Как отмечено в статье<sup>11</sup>, разработкой реакторов на быстрых нейтронах с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем также занимаются в Китае (реакторы *CLEAR*) и международные консорциумы в США (реактор *PLFR* компании *Westinghouse Electric*) и Европейском союзе (реакторы *ALFRED* в Румынии и *MYRRHA* в Бельгии). Из них наиболее серьёзных успехов добился Китай, однако безусловным лидером разработок в этой области продолжает оставаться Россия, приступившая на площадке Сибирского химкомбината к практической реализации разработок в рамках проекта «Прорыв», нередко именуемого «Второй атомный проект» по аналогии с «Первым атомным проектом» И.В. Курчатова и нацеленного на развитие крупномасштабной ядерной энергетике, отвечающей следующим требованиям:

<sup>9</sup> *Muellner N., Arnold N., Gufler K.* [et al.]. Nuclear energy – The solution to climate change?

<sup>10</sup> *Adamov E., Gabaraev B., Gorin N.* [et al.]. Nuclear power engineering with fast neutron reactors and closed nuclear fuel cycle – Solution of climate problems and more // *Nuclear Engineering and Design*. March 2025. Vol. 433. P. 113803.

<sup>11</sup> *Orlov A.I., Gabaraev D.A.* Heavy liquid metal cooled fast reactors: peculiarities and development status of the major projects // *Nuclear Energy and Technology*. March 2023. № 9(1). P. 1-18.

- исключение тяжёлых аварий, требующих эвакуации населения;
- обеспечение конкурентоспособности на рынке электрогенерации;
- использование полного потенциала природного уранового сырья;
- радиационно-эквивалентное захоронение радиоактивных отходов;
- совершенствование режима нераспространения ядерных и радиоактивных материалов<sup>12</sup>.

В указанной работе отмечено, что энерготехнология с быстрым реактором в замкнутом ядерном топливном цикле удовлетворяет перечисленным требованиям к крупномасштабной ядерной энергетике, так как:

- исключает тяжёлые аварии, требующие эвакуации населения (это достигается благодаря реализации принципа естественной безопасности). Естественным образом может быть кардинально снижен или даже исключён риск наиболее тяжёлых аварий;

- решает проблему ресурсного ограничения по топливу благодаря использованию урана-238 и тория-232;

- предлагает малоотходную переработку отработавшего ядерного топлива с радиационно-эквивалентным захоронением радиоактивных отходов;

- обеспечивает технологическую поддержку режима нераспространения (отказ от обогащения урана, отсутствие бланкета, пристанционный топливный цикл, коэффициент

воспроизводства (КВ) ~1, технологии переработки отработавшего ядерного топлива без разделения урана и плутония).

Таким образом, создание инновационной ядерной энерготехнологии уже не подлежит сомнению и является всего лишь вопросом времени, поскольку все разработчики не видят технически непреодолимых проблем. Опасения скептически настроенных авторов работы<sup>13</sup>, что эта технология не поспеет ко времени, не соответствуют оценке возможностей мировой ядерной энергетики по достижению необходимых мощностей при наличии политической воли и необходимых ресурсов<sup>14</sup>. Разумеется, предоставление необходимых ресурсов также в значительной степени зависит всё от той же политической воли.

Развитие событий в мире за последние годы свидетельствует о том, что политическая воля не заставит себя долго ждать. Ещё недавно между двумя группами государств – членов Европейского союза шла бурная дискуссия, считать ли ядерную энергетику приемлемой для перехода к безуглеродной или низкоуглеродной энергетике или же вовсе отказаться от неё, как предполагают поступить с тепловой энергетикой. Однако экономические и иные трудности, связанные с отказом от ископаемого топлива, привели в 2022 г. Европейский союз к принятию Дополнительного делегированного

<sup>12</sup> Адамов Е.О., Арутюнян Р.В., Большов Л.А. [и др.]. Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами / под общ. ред. проф. Е.О. Адамова. М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2020. – 502 с.

<sup>13</sup> Mueller N., Arnold N., Gufler K. [et al.]. Nuclear energy – The solution to climate change?

<sup>14</sup> Адамов Е.О., Арутюнян Р.В., Большов Л.А. [и др.]. Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами.

акта о включении некоторых видов ядерной и газовой энергетики в Таксономию Европейского союза<sup>15</sup>. Правда, было подчеркнуто, что это всего лишь временная мера на период перехода к климатически нейтральной экономике. И тут на ум приходит крылатое выражение Альберта Джея Нока, давно ставшее расхожей поговоркой: «*Нет ничего более постоянного, чем временное*».

Правота американского анархиста-либертианца подтвердилась уже в конце 2023 г. на Климатическом саммите-28 в Дубае (ОАЭ), в рамках которого об ядерной энергетике не только вспомнили впервые в истории саммитов, но даже приняли Декларацию об утроении потенциала ядерной энергетике к 2050 году по сравнению с 2020 годом<sup>16</sup>.

Документ подписали 22 государства: Болгария, Канада, Южная Корея, ОАЭ, Словакия, Словения, США, Финляндия, Франция, Гана, Венгрия, Марокко, Молдавия, Монголия, Нидерланды, Польша, Румыния, Великобритания, Чехия, Швеция и Украина. Делегации России и Китая декларацию не подписали. Как нетрудно увидеть, 10 из этих государств, подписавших декларацию, являются членами Европейского союза. На сле-

дующем Климатическом саммите-29, проходившем в Баку (Азербайджан), к этой Декларации присоединились ещё шесть стран: Сальвадор, Казахстан, Кения, Косово, Нигерия и Турция<sup>17</sup>, которая, кстати, уже много лет ожидает принятия в Европейский союз. В общей сложности под данным документом уже стоят подписи 31 государства.

Таким образом, инновационная ядерная энергетика без недостатков, присущих часто и справедливо критикуемой современной ядерной энергетике, постепенно завоёвывает право на жизнь в качестве энерготехнологии с очень низким уровнем карбонизации окружающей среды. В заслуживающем доверия документе ООН приведена информация о том, что при рассмотрении всего жизненного цикла установок (от добычи исходных материалов до утилизации отработавшего оборудования) выбросы парниковых газов в граммовом эквиваленте CO<sub>2</sub> на кВт·ч составляют:

- 403-513 – для газовой энергетики;
- 7-122 – для гелиоэнергетики;
- 8-23 – для ветроэнергетики;
- всего лишь 4,9-6,3 – для ядерной энергетики<sup>18</sup>.

<sup>15</sup> Критерии Таксономии ЕС для проектов атомной энергетики. Отчёт // Росатом // URL: <https://atommedia.online/wp-content/uploads/2023/11/otchet-kriterii-taksonomii-es-dlya-proektov-atomnoj-energetiki-1.pdf>

<sup>16</sup> Energy.gov. At COP28, Countries Launch Declaration to Triple Nuclear Energy Capacity by 2050, Recognizing the Key Role of Nuclear Energy in Reaching Net Zero // URL: <https://www.energy.gov/articles/cop28-countries-launch-declaration-triple-nuclear-energy-capacity-2050-recognizing-key>

<sup>17</sup> World Nuclear Association. Six More Countries Endorse the Declaration to Triple Nuclear Energy by 2050 at COP29. Iss. 13 November 2024 // URL: <https://world-nuclear.org/news-and-media/press-statements/six-more-countries-endorse-the-declaration-to-triple-nuc>

<sup>18</sup> Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources. United Nations Economic Commission for Europe, United Nations Geneva, 2022 // URL: [https://onerech.ark.edu/discovery/fulldisplay?vid=01UARK\\_INST:01UARK&search\\_scope=MyInst\\_and\\_CI&tab=COMBINED&docid=alma991036385059507336&context=L](https://onerech.ark.edu/discovery/fulldisplay?vid=01UARK_INST:01UARK&search_scope=MyInst_and_CI&tab=COMBINED&docid=alma991036385059507336&context=L)

Авторы монографии<sup>19</sup> показали, что перевод ядерной энергетики на новую технологическую платформу позволит эффективнее использовать природный уран, повы-

сить безопасность, снизить воздействие на окружающую среду и технически укрепить решение проблем нераспространения ядерного оружия.

### Ядерная энергетика только мостик для перехода к климатически нейтральной экономике или всё же полноправный игрок?

Несмотря на продемонстрированную эволюцию отношения общественности и правительств к роли ядерной энергетики, многие всё ещё относятся к ядерной энергетике так же, как к газовой энергетике, т. е. как к переходному этапу (до 2050 г.) на пути к безуглеродной энергетике, в качестве которой рассматривается система, базирующаяся исключительно на ВИЭ. Между тем приведённая выше информация из документа ООН<sup>20</sup> свидетельствует о том, что ВЭС, и тем более СЭС, в разы и десятки раз превышают выбросы парниковых газов ядерной энергетики в граммовом эквиваленте CO<sub>2</sub> на кВт-ч.

Апологеты ВИЭ решительно настроены построить ВЭС и СЭС в количестве, достаточном для удовлетворения всей потребности человечества в электрической энергии и водороде<sup>21</sup>. При этом они упускают из виду несколько обстоятельств, на что указывают авторы публика-

ции<sup>22</sup>, приводя очевидные и неочевидные недостатки возобновляемых источников энергии.

К числу очевидных недостатков отнесены:

- отчуждение больших территорий под строительство ГЭС, ВЭС и СЭС;

- вынужденно высокое резервирование (четырёх-пятикратный запас) генерирующих мощностей из-за их сильной зависимости от суточных, сезонных и погодных факторов;

- необходимость применения систем хранения энергии;

- материалоёмкость ВИЭ и систем хранения энергии.

Как отмечено в Мастер-плане<sup>23</sup>, достижение устойчивой энергетической экономики к 2050 г. с учётом материалоёмкости самой электрогенерации, аккумуляторов и электропередачи означает суммарную потребность (млн т): никель – 40, алюминий – 412, литий (LiOH·N<sub>2</sub>O) – 118,

<sup>19</sup> Адамов Е.О., Арутюнян Р.В., Большов Л.А. [и др.]. Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами.

<sup>20</sup> Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources.

<sup>21</sup> Muellner N., Arnold N., Guffler K. [et al.]. Nuclear energy – The solution to climate change?

<sup>22</sup> Kaplienko A.V., Gabaraev B.A., Cherepnin Yu.S. Potential role of nuclear power in a carbon-free world.

<sup>23</sup> Master Plan Part 3 Sustainable Energy for All of Earth // URL: [https://www.tesla.com/ns\\_videos/Tesla-Master-Plan-Part-3.pdf](https://www.tesla.com/ns_videos/Tesla-Master-Plan-Part-3.pdf) (Ежемесячный дайджест отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (ЦАИР). Май 2023. С. 2-7).

цинк – 66, кремний – 39, серебро – 0,07, магний – 18.

Что касается меди, объявленной «главным металлом зелёной энергетики»: добыча (2019 г.) – 24 млн т, потребление в СЭС – 5,5 т/МВт, в ВЭС – (4–10) т/МВт.

Из числа неочевидных недостатков мировой электрогенерации, основанной исключительно на ВИЭ, отмечается следующее:

- возможность катастрофического разрушения плотин ГЭС в случае ненадлежащего мониторинга и поддержания их целостности;

- чрезвычайные затраты на утилизацию или реновацию плотины ГЭС, на рекультивацию обнажившегося дна водохранилища во избежание экологического или инфекционного бедствия;

- нарушение принципов безуглеродности и экологичности на начальном и конечном этапах жизненного цикла СЭС и ВЭС (добыча и производство материалов для создания СЭС и ВЭС, утилизация СЭС и ВЭС по завершении срока службы);
- нарушение требования о бесперебойности энергоснабжения, иными словами, несоблюдение энергетической безопасности<sup>24</sup>.

Касательно предпоследнего пункта в той же работе отмечено, что, во-первых, современные технологии производства материалов для СЭС и ВЭС характеризуются большими выбросами CO<sub>2</sub>, а при утилизации их элементов, например, полимерных лопастей ветротурбин или солнечных панелей, неизбежно будут

выделяться токсичные вещества, куда более вредные, чем CO<sub>2</sub><sup>25</sup>.

Особо следует остановиться на последнем пункте неочевидных недостатков, так как длительное оставление населения без электроснабжения представляется совершенно недопустимым. Казалось бы, для преодоления этого недостатка достаточно осуществить резервирование (по генерирующей мощности) или диверсификацию (например, по принципу действия). Однако авторы<sup>26</sup> отмечают, что эти меры не смогут исключить отказ в электроснабжении при отказе по общей причине.

В качестве иллюстрации такого события они привели потерю 75% генерирующей мощности ВЭС штата Техас из-за обледенения лопастей ветротурбин и замерзания роторного масла при сильных февральских морозах 2021 г.

Кроме того, из числа крайне маловероятных, но не совсем исключённых, экстремальных ситуаций было упомянуто гипотетическое вулканическое извержение глобального масштаба (например, Йеллоустоунского вулкана в США).

В результате авторы цитируемой работы приходят к выводу о необходимости подстраховки СЭС и ВЭС другим безуглеродным или низкоуглеродным источником электрической энергии, в роли которого в обозримом будущем может выступить только ядерная энергетика, учитывая пока отдалённую перспективу практического внедрения термо-

<sup>24</sup> Kaplienko A.V., Gabaraev B.A., Cherepnin Yu.S. Potential role of nuclear power in a carbon-free world.

<sup>25</sup> Ibid.

<sup>26</sup> Ibid.

ядерных электростанций<sup>27</sup>. Как отмечено в дорожной карте, безуглеродность электрогенерирующей системы мира будет достигнута к 2050 г. при выработке 88% электроэнергии на ВИЭ, а оставшихся 12% в основном на АЭС<sup>28</sup>.

Упомянутые 12% представляются слишком тесной нишей для инновационной ядерной энергетики. Возможность применения ядерной энергии для производства водорода, жизненно необходимого для грядущей водородной экономики, сильно расширяет её перспективы. На первых этапах предусматривается получение голубого водорода путём паровой конверсии природного газа (метана) атомных энерготехнологических станций с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами<sup>29</sup>. В дальнейшем по мере развития и удешевления электролизеров появится возможность производства зелёного водорода непосредственно при электролизе воды. Для России очень важно не попасть в очередную

ловушку, на этот раз связанную с соблазном будущего импорта электролизеров и систем хранения энергии. Лучше позаботиться о своём технологическом суверенитете и вовремя финансировать соответствующие отечественные разработки.

Следует отметить своего рода синергию от сочетания ВИЭ с ядерной энергетикой.

Как известно, ядерные энергетические реакторы «не любят» изменений оперативной мощности. В работе<sup>30</sup> отмечено, что возможность оперативной «переброски» избыточной электроэнергии АЭС на электролизеры для производства водорода позволит постоянно держать мощность реактора на уровне, близком к номинальному. Учитывая ожидаемую в будущем высокую востребованность водорода, можно также сделать вывод, что 12-процентная ниша, декларированная в работе<sup>31</sup> для ядерной энергетики, может быть существенно расширена под фактические требования водородной экономики.

По мнению многих учёных, возросшая частота экстремальных климатических событий связана с устойчивым потеплением приземного слоя атмосферы, которое вызвано парниковыми газами, возникающими в результате антропогенной деятельности. Они призвали кардинально ограничить, а в пределе совершенно исключить выбросы парниковых газов, в первую очередь диоксида углерода CO<sub>2</sub>.

С пониманием своей ответственности правительства почти 200 стран подписали важнейшие климатические документы о сокращении выбросов парниковых газов:

<sup>27</sup> Kaplienko A.V., Gabaraev B.A., Cherepnin Yu.S. Potential role of nuclear power in a carbon-free world.

<sup>28</sup> Net Zero by 2050. A Road for the Global Energy Sector. IEA October 2021 // URL: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9doc-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9doc-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf)

<sup>29</sup> Пономарев Н.Н., Петрунин В.В. Атомно-водородная энергетика – приоритетное направление научно-технического развития. Д64 Доллежалевские чтения. V–VI циклы. Сб. лекций и презентаций. М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2022.

<sup>30</sup> Kaplienko A.V., Gabaraev B.A., Cherepnin Yu.S. Potential role of nuclear power in a carbon-free world.

<sup>31</sup> Net Zero by 2050. A Road for the Global Energy Sector.

- Киотский протокол об изменении климата (1997 г.);
- Парижское соглашение по климату (2015 г.);
- Климатический пакт Глазго (2021 г.).

Целью соглашений является ограничение разогрева земной атмосферы к концу XXI в. величиной 1,5 °С, однако по изменению риторики ежегодных Климатических саммитов можно судить о том, что всё большее число учёных и политиков приходит к осознанию невыполнимости этой задачи, если опираться только на возобновляемые источники энергии (солнце, ветер и воду).

Действительно, ахиллесовой пятой энергосистемы, составленной только из возобновляемых источников энергии, является её незащищённость от отказа по общей причине, например, вулканической активности. Отсюда вывод о необходимости включения в состав энергосистемы другого низкоуглеродного источника энергии. За отдалённостью перспектив появления термоядерных электростанций на эту роль может претендовать только ядерная энергетика.

О понимании этого свидетельствует то, что впервые в практике проведения форумов по климату на Климатическом саммите-28 (конец 2023 г.) обсуждалась роль ядерной энергетике в решении климатических проблем. В результате принята Декларация об утроении потенциала ядерной энергетике к 2050 г. по сравнению с 2020 г., под которой подписались 22 страны. Ещё шесть стран поставили свои подписи через год при проведении Климатического саммита в столице Азербайджана городе Баку.

Разумеется, в этой Декларации речь идёт не о существующей ядерной энергетике, обладающей многими недостатками (ограниченность топливного ресурса, так как задействован только уран-235, составляющий всего лишь 0,72% от всего имеющегося количества урана, риски тяжёлых аварий и ядерного распространения, проблемы обращения с радиоактивными отходами и т. д.). Заложенные в Декларации ожидания подразумевают разрабатываемую в настоящее время инновационную ядерную энергетiku, удовлетворяющую следующим требованиям:

- обеспечение конкурентоспособности на рынке электрогенерации;
- использование полного потенциала природного уранового сырья;
- исключение тяжёлых аварий, требующих эвакуации населения;
- совершенствование режима нераспространения ядерных и радиоактивных материалов;
- радиационно-эквивалентное захоронение радиоактивных отходов.

Такую ядерную энергетiku уже разрабатывают в США, Китае и Европейском союзе, однако следует отметить, что по-прежнему бесспорно лидирует Россия со своим ключевым проектом «Прорыв». Уже строится на площадке Сибирского химического комбината опытно-демонстрационный энергетический комплекс (ОДЭК), состоящий из энергоблока с быстрым реактором БРЕСТ-ОД-300, использующим в качестве теплоносителя жидкий свинец, и пристанционный завод, замыкающего ядерный топливный цикл.

В документе Международного энергетического агентства для ядерной энергетике предусмотрены 12%, однако это «окно возможностей» может ока-

заться для неё слишком тесным, если принять во внимание синергический эффект сочетания возобновляемых источников энергии с ядерными энергетическими реакторами, когда избыточную электрическую энергию можно «перебрасывать» на электролизеры для производства водорода, сохраняя удобный для реактора номинальный уровень его мощности.

## Библиография • References

- Адамов Е.О., Арутюнян Р.В., Большов Л.А. [и др.]. Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами / под общ. ред. проф. Е.О. Адамова. М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2020. – 502 с.
- [Adamov E.O., Arutyunyan R.V., Bol'shov L.A. [i dr.]. Belaya kniga yadernoj energetiki. Zamknutyj YATC s bystryimi reaktorami / pod obshch. red. prof. E.O. Adamova. M.: Izd-vo AO «NIKIET», 2020. – 502 s.]
- Анисимов О.А., Нельсон Ф.Э., Павлов А.В. Прогнозные сценарии эволюции криолитозоны при глобальных изменениях климата в XXI веке // Криосфера Земли. 1999. Т. 3. № 4. С. 15-25.
- [Anisimov O.A., Nelson F.E., Pavlov A.V. Prognoznye scenarii evolyucii kriolitozony pri global'nyh izmeneniyah klimata v XXI veke // Kriosfera Zemli. 1999. T. 3. № 4. S. 15-25]
- Бондаренко Л.В. Глобальное изменение климата и его последствия // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2018. № 2. С. 84-92.
- [Bondarenko L.V. Global'noe izmenenie klimata i ego posledstviya // Vestnik Rossijskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova. 2018. № 2. S. 84-92]
- Критерии Таксономии ЕС для проектов атомной энергетики. Отчёт // Росатом // URL: <https://atommedia.online/wp-content/uploads/2023/11/otchet-kriterii-taksonomii-es-dlya-proektov-atomnoj-energetiki-1.pdf>
- [Kriterii Taksonomii ES dlya proektov atomnoj energetiki. Otchyt // Rosatom // URL: <https://atommedia.online/wp-content/uploads/2023/11/otchet-kriterii-taksonomii-es-dlya-proektov-atomnoj-energetiki-1.pdf>]
- Пономарев Н.Н., Петрунин В.В. Атомно-водородная энергетика – приоритетное направление научно-технического развития. Д64 Доллежалевские чтения. V–VI циклы. Сб. лекций и презентаций. М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2022.
- [Ponomarev N.N., Petrunin V.V. Atomno-vodorodnaya energetika – prioritetnoe napravlenie nauchno-tehnicheskogo razvitiya. D64 Dollezhalevskie chteniya. V–VI cikly. Sb. lekcij i prezentacij. M.: Izd-vo AO «NIKIET», 2022]
- Adamov E., Gabaraev B., Gorin N. [et al.]. Nuclear power engineering with fast neutron reactors and closed nuclear fuel cycle – Solution of climate problems and more // Nuclear Engineering and Design. March 2025. Vol. 433. P. 113803.
- Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources. United Nations Economic Commission for Europe, United Nations Geneva, 2022 // URL: [https://oneresearch.uark.edu/discovery/fulldisplay?vid=01UARK\\_INST:01UARK&search\\_scope=MyInst\\_and\\_CI&tab=COMBINED&docid=alma991036385059507336&context=L](https://oneresearch.uark.edu/discovery/fulldisplay?vid=01UARK_INST:01UARK&search_scope=MyInst_and_CI&tab=COMBINED&docid=alma991036385059507336&context=L)
- Energy.gov. At COP28, Countries Launch Declaration to Triple Nuclear Energy Capacity by 2050, Recognizing the Key Role of Nuclear Energy in Reaching Net Zero // URL: <https://www.energy.gov/articles/cop28-countries-launch-declaration-triple-nuclear-energy-capacity-2050-recognizing-key>

- Kaplienko A.V., Gabaraev B.A., Cherepnin Yu.S.* Potential role of nuclear power in a carbon-free world // Nuclear Energy and Technology. 2024. № 10(2). P. 89-96.
- Master Plan Part 3 Sustainable Energy for All of Earth // URL: [https://www.tesla.com/ns\\_videos/Tesla-Master-Plan-Part-3.pdf](https://www.tesla.com/ns_videos/Tesla-Master-Plan-Part-3.pdf) (Ежемесячный дайджест отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (ЦАИР). Май 2023. С. 2-7).
- Muellner N., Arnold N., Gufler K.* [et al.]. Nuclear energy – The solution to climate change? // Energy Policy 2021. № 155. P. 1-10.
- Net Zero by 2050. A Road for the Global Energy Sector. IEA October 2021 // URL: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9doc-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9doc-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf)
- Orlov A.I., Gabaraev D.A.* Heavy liquid metal cooled fast reactors: peculiarities and development status of the major projects // Nuclear Energy and Technology. March 2023. № 9(1). P. 1-18.
- World Nuclear Association. Six More Countries Endorse the Declaration to Triple Nuclear Energy by 2050 at COP29. Iss. 13 November 2024 // URL: <https://world-nuclear.org/news-and-media/press-statements/six-more-countries-endorse-the-declaration-to-triple-nuc>

Статья поступила в редакцию 18 марта 2025 г.

Статья принята к публикации 10 апреля 2025 г.

### **УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!**

**Просим обратить внимание на изменения требований к подготовке сопроводительной документации**



**<https://www.observer-journal.ru/jour/about/submissions#authorGuidelines>**