

Экономические вопросы управления  
Economic issues in administration

DOI: 10.24412/2070-1381-2022-95-7-19

Атомная энергетика как основа устойчивого развития

**Горин Николай Владимирович<sup>1</sup>**

Кандидат физико-математических наук, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина», Снежинск, РФ.

E-mail: [n.gorin@vniitf.ru](mailto:n.gorin@vniitf.ru)

SPIN-код РИНЦ: [8826-7307](#)

ORCID ID: [0000-0001-7468-1492](#)

**Водолага Борис Константинович**

Доктор физико-математических наук, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина», Снежинск, РФ.

E-mail: [b.k.vodolaga@vniitf.ru](mailto:b.k.vodolaga@vniitf.ru)

SPIN-код РИНЦ: [8839-9678](#)

**Кучинов Владимир Петрович**

Доцент, НИЯУ МИФИ, Москва, РФ.

E-mail: [vkuchinov@bk.ru](mailto:vkuchinov@bk.ru)

**Шидловский Владимир Владиславович**

Кандидат технических наук, начальник управления по планированию научно-технической деятельности АО «Прорыв», Москва, РФ.

E-mail: [shvv@proryv2020.ru](mailto:shvv@proryv2020.ru)

**Аннотация**

Цель статьи — привлечь внимание органов власти и авторитетных категорий населения к необходимости решения основных проблем устойчивого развития России. Отмечено, что одним из основных факторов достижения целей устойчивого развития является обеспечение энергией. При этом одновременно должна решаться задача уменьшения антропогенных выбросов, для чего необходимы экологически чистые источники энергии. В ходе анализа показано, что развиваемые в настоящее время ветровые и солнечные источники энергии не смогут в полной мере обеспечить человечество чистой энергией в силу присущих им технических ограничений. Таким источником может быть только атомная энергетика с реакторами на быстрых нейтронах и замкнутым ядерным топливным циклом (ЯТЦ), которые должны получить в ближайшее время более широкое распространение в мире. Известно, что общественное мнение консервативно, стереотипы и фобии, в том числе социально-психологические аспекты радиационного воздействия и восприятия риска от использования ядерной энергетике, возникая быстро, изменяются медленно. Вместе с тем угроза снижения из-за недостатка экологически чистой энергии уровня жизни, от которого современная цивилизация отказаться не сможет, неизбежно повлияет на общественное мнение. Результаты последних социологических исследований показали, что в среднем по России интерес к экологической проблематике ниже, чем к другим социальным аспектам, таким как здравоохранение, социальное обеспечение, уровень зарплаты, которые также зависят от уровня потребляемой энергии. Однако распределение приоритетов в российском обществе в отношении имеющихся проблем развития вследствие роста экологических проблем может быстро измениться, включая более позитивное восприятие ядерных энергетических технологий. К этому должны быть готовы как представители ядерной отрасли, так и политики, педагоги, медики, специалисты органов местного самоуправления, экологи, журналисты и пр.

**Ключевые слова**

Устойчивое развитие, экологически чистые источники энергии, атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии, общественное мнение.

**Nuclear Energy as a Basis for Sustainable Development**

**Nikolay V. Gorin<sup>2</sup>**

PhD, Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russian Federation.

E-mail: [n.gorin@vniitf.ru](mailto:n.gorin@vniitf.ru)

ORCID ID: [0000-0001-7468-1492](#)

**Boris K. Vodolaga**

DSc (Physical and mathematical sciences), Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russian Federation.

E-mail: [b.k.vodolaga@vniitf.ru](mailto:b.k.vodolaga@vniitf.ru)

**Vladimir P. Kuchinov**

Associate Professor, National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russian Federation.

E-mail: [vkuchinov@bk.ru](mailto:vkuchinov@bk.ru)

<sup>1</sup> Корреспондирующий автор.

<sup>2</sup> Corresponding author.

Vladimir V. Shidlovskiy

PhD, Head of Division for Planning Scientific and Technical Activities, JSC «Proryv», Moscow, Russian Federation.

E-mail: [shvv@proryv2020.ru](mailto:shvv@proryv2020.ru)

### Abstract

The aim of the article is to draw attention of authorities and authoritative categories of the population to the need of solving the main problems of sustainable development of Russia. It is noted that one of the main factors in achieving the Sustainable Development Goals is the provision of energy. At the same time, the task of reducing anthropogenic emissions must be solved, which requires environmentally friendly energy sources. It is shown that wind and solar energy sources currently being developed will not be able to fully provide the humankind with clean energy due to their inherent technical limitations. Only nuclear energy with fast neutron reactors and a closed nuclear fuel cycle, which should become more widespread in the world in the nearest future, can be such a source. It is known that public opinion is conservative. Stereotypes and phobias, including the socio-psychological aspects of exposure to radiation and the perception of risk from the use of nuclear energy appear quickly, but change slowly. At the same time, the threat of a decrease in the established living standards due to the lack of environmentally friendly energy, which the modern civilization won't be able to refuse, will inevitably affect public opinion. The results of recent sociological studies show that on the average in Russia the interest in environmental issues is lower than in other social aspects, such as health care, social security, and salary levels, which also depend on the level of energy consumed. However, the distribution of priorities in the Russian society to the existing development problems due to the growth of environmental problems may change rapidly, including a more positive perception of nuclear energy technologies. Representatives of the nuclear industry, as well as politicians, teachers, doctors, local government officials, environmentalists, journalists, etc., should be ready for this.

### Keywords

Sustainable development, clean energy sources, nuclear energy, nuclear and radiation technologies, public opinion.

### Введение

В течение тысячелетий человечество стремилось к повышению уровня жизни, создавало новые технологии, добивалось своих целей, развивалось и в результате создало современную цивилизацию с высоким уровнем жизни для «золотого миллиарда», средним и низким уровнями жизни для остального населения. В настоящее время в мире около 1 млрд человек все еще недоедают, около 2 млрд не имеют доступа к основным санитарным услугам, около 1 млрд — к электроэнергии, около половины населения — к современным видам топлива<sup>3</sup>.

Становление цивилизации сопровождалось антропогенным воздействием на окружающую среду, которое наиболее сильно проявилось с началом промышленной революции, то есть на протяжении последних 200–250 лет. Это воздействие, возможно, стало одной из причин основных вызовов современности — усиления парникового эффекта за счет увеличения выбросов CO<sub>2</sub> и, как следствие, глобального потепления<sup>4</sup>. В связи с ростом экономической активности можно ожидать дальнейшего роста выбросов в атмосферу углекислого газа.

К 2150 г. прогнозируется стабилизация численности населения на уровне 10–12 млрд чел. [Капица 2002, 32]. Это потребует не менее 1,5-кратного роста потребления энергии, а с учетом возрастающих запросов, возможно, потребуются и гораздо больший ее рост, что приведет к пропорциональному росту загрязнения окружающей среды. Все это позволяет утверждать, что масштабы человеческой деятельности достигают или уже превышают пределы роста [Meadows et al. 1972; Meadows et al. 2004]. Ряд ограничений может быть отодвинут технологическим прогрессом, но рост численности населения, а самое главное — его потребностей, очень быстро это преодолет, и человечество вновь подойдет к пределу своего роста.

В 2015 году в ООН приняты Цели устойчивого развития (ЦУР) для «достижения лучшего и более устойчивого будущего для всех». Спустя несколько лет (2018 г.) в России инициированы национальные проекты «Человеческий капитал», «Комфортная среда для жизни» и «Экономический рост», нацеленные на устойчивое развитие страны. Важнейшие цели — ликвидация нищеты, голода и хорошее здоровье человека — представлены как в ЦУР ООН, так и

<sup>3</sup> The State of Food Security and Nutrition in the World 2017: Building Resilience for Peace and Food Security // FAO [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1107528> (дата обращения: 23.04.2022); Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines // WHO [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241512893> (дата обращения: 23.04.2022).

<sup>4</sup> Global Energy & CO<sub>2</sub> Status Report 2019 // IEA [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019/emissions> (дата обращения: 02.09.2022).

в национальных проектах России. Их содержание во многом коррелирует друг с другом, естественно, с поправками на то, что некоторые из ЦУР ООН для России не актуальны. Вместе с тем, например, ЦУР 7 «Недорогостоящая и чистая энергия», которая необходима для достижения большинства ЦУР, актуальна и для России, но в ее национальных проектах изначально не была представлена в виде самостоятельного проекта, хотя это быстро было исправлено<sup>5</sup>. Работы в интересах быстрых реакторов с замкнутым ядерным топливным циклом (ЯТЦ) начаты и будут способствовать выполнению других национальных проектов [Pershukov et al. 2021; Gorin et al. 2021].

В настоящее время мировая цивилизация потребляет около 14,3 млрд т.н.э. энергии в год, из которых примерно 80% производится за счет сжигания углеводородов. Прогнозируется, что к 2030 г. мировое конечное потребление энергии составит порядка 11,7 млрд т.н.э., а к 2050 г. — 13,6 млрд т.н.э. Некоторое снижение общего потребления, несмотря на рост численности населения, можно объяснить совершенствованием технологий энергопотребления и политикой энергосбережения. В то же время в потреблении электроэнергии прогнозируется рост на уровне 25% с 2020 до 2030 г., и к 2050 г. это потребление должно почти удвоиться и составить около 50% от общего потребления энергии, то есть на уровне 6,8 млрд т.н.э.<sup>6</sup>

Принимая во внимание, что основное производство электроэнергии сегодня осуществляется станциями на ископаемом углеводородном топливе, для достижения к 2050 г. нулевого чистого выброса CO<sub>2</sub> желательно иметь не менее десятка млрд т.н.э. экологически чистой энергии в год, в том числе для выполнения четырех ЦУР (7, 12, 13 и 15)<sup>7</sup>. Возобновляемые источники энергии (солнечная, ветровая и пр.), на которые делается ставка в настоящее время, с этой задачей не справятся, так как у них мала плотность потока энергии<sup>8</sup>. Решить эту проблему возможно только при повсеместном развитии в мире атомной энергетики [Gorin et al. 2022; Шидловский и др. 2022]. Ее широкое распространение неизбежно столкнется со стереотипами и фобиями, в том числе в социально-психологической области радиационного воздействия на человека и восприятия рисков. К такому развитию событий должны быть готовы как представители ядерной отрасли, так и политики, педагоги, медики, специалисты органов местного самоуправления, экологи, журналисты и пр. Достижение целей устойчивого развития невозможно без экологически чистой энергии, промышленного производства и транспорта.

Во многих публикациях рассматривается перевод атомной энергетики в разряд «зеленых» технологий с целью достижения целей устойчивого развития ООН. Проект «Прорыв» направлен на доказательство промышленной осуществимости замкнутого ЯТЦ на площадке АЭС с реактором на быстрых нейтронах, что дает технологическую возможность создания экологически безопасных ядерных энергетических систем, свободных от риска распространения ядерного оружия [Pershukov et al. 2021].

<sup>5</sup> Правительство утвердило 14-й национальный проект по развитию атомной науки и технологий // Страна Росатом [Электронный ресурс]. URL: <https://strana-rosatom.ru/2021/02/08/31102/> (дата обращения: 23.04.2022).

<sup>6</sup> Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 // IAEA [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iaea.org/publications/14786/energy-electricity-and-nuclear-power-estimates-for-the-period-up-to-2050> (дата обращения: 02.09.2022).

<sup>7</sup> Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector // IEA [Электронный ресурс]. URL: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf) (дата обращения: 02.09.2022).

<sup>8</sup> Капица П.Л. Энергия и физика // VIVOS VOCO [Электронный ресурс]. URL: [http://vivovoco.astronet.ru/VV/PAPERS/KAPITZA/KAP\\_10.HTM](http://vivovoco.astronet.ru/VV/PAPERS/KAPITZA/KAP_10.HTM) (дата обращения 13.08.2022).

В последнее время появился ряд публикаций о недостатках популярных в обществе солнечной и ветровой энергетик: так, в 2020–2021 гг. произошло заметное количество остановок солнечных и ветровых электрогенераторов из-за погодных условий<sup>9</sup>, обозначились проблемы утилизации солнечных панелей [Duran et al. 2021]<sup>10</sup>.

В этой связи необходимо рассмотреть реализацию ЦУР ООН в контексте развития атомной энергетики.

### **Вызов устойчивому развитию**

Один из основных вызовов устойчивому развитию связан с широким использованием углеводородной энергетики на производстве и транспорте. Парадигма цивилизационного развития всегда рассматривала окружающую среду (биосферу) как бесконечный источник сырья для удовлетворения непрерывно возрастающих потребностей человека и как неограниченный объем для утилизации отходов<sup>11</sup>. Однако рост численности населения и все возрастающие потребности людей, особенно в течение последних десятилетий, обострили противоречия прежде всего между потребностями человека и возможностями природы служить местом для утилизации отходов. Загрязнение окружающей среды принимает угрожающие размеры, и отмечается, что к началу XXI века уровень воздействия на биосферу на порядок превысил допустимый предел, и это не подвергается сомнению специалистами по глобальной экологии [Данилов-Данильян 2008]. Основные загрязнители — промышленные предприятия и транспорт, сжигающие углеводородное топливо.

Отсюда следует, что необходимо корректировать парадигму развития, что, собственно, и заложено в ЦУР ООН. Однако для этого необходима технология производства энергии, которая способна не только обеспечить человечество энергией в достаточных количествах, но и минимально потреблять на единицу произведенной энергии природных ресурсов, включая различные материалы, а также минимизировать образование отходов. Для оценки использования природных ресурсов в жизненных циклах технологий производства электроэнергии можно использовать потенциал абиотического истощения (ПАИ), который измеряется в килограммах эквивалентов сурьмы (Sb), отражающих дефицит различных ресурсов по сравнению с эталонной рудой (сурьмой). Из используемых сегодня энергетических технологий минимальными значениями ПАИ обладают газотурбинные установки замкнутого цикла и атомная энергетика. Атомная энергетика и газотурбинные установки замкнутого цикла также обладают минимальными показателями образования отходов (без учета радиоактивных) на единицу произведенной энергии<sup>12</sup>.

### **Выбор энергосистемы как основы устойчивого развития**

Долю экологически чистой атомной энергетики в энергетическом балансе неизбежно придетсякратно увеличивать, от ~5% в настоящее время до желательных ~50–70%. Для этого следует выбрать энергетическую систему, способную производить в течение нескольких столетий не менее десятка млрд т.н.э. энергии в год и не причинять вред окружающей среде. Критерии выбора существующей энергетической системы, а не ее проектов, очевидны и известны: цена энергии,

<sup>9</sup> Climate Change and Nuclear Power 2020 // IAEA [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iaea.org/publications/14725/climate-change-and-nuclear-power-2020> (дата обращения: 23.04.2022).

<sup>10</sup> См. также: End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels // IRENA [Электронный ресурс]. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_IEAPVPS\\_End](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End) (дата обращения: 23.04.2022).

<sup>11</sup> Академик Никита Моисеев о необходимости экологического социализма // Regnum [Электронный ресурс]. URL: <https://regnum.ru/news/society/2951381.html> (дата обращения: 23.04.2022).

<sup>12</sup> Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 (Taxonomy Regulation) // European Commission [Электронный ресурс]. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC125953> (дата обращения: 23.04.2022).

обеспеченность топливом, загрязнение окружающей среды и влияние на здоровье населения, риск и последствия аварий. При анализе необходимо понимание, что получит и потеряет общество при использовании конкретной энергетической системы. В результате такого сравнения и анализа сформируется либо приемлемость энергетической системы, либо ее неприятие.

Если принять во внимание, что человечество ежегодно производит и потребляет 14,3 млрд т.н.э энергии ( $\sim 6 \cdot 10^{20}$  Дж) и, следовательно, совокупная мощность современной энергетики —  $\sim 19$  тыс. ГВт, то сразу же станет понятно, что производство энергии в размере десятка миллиардов тонн нефтяного эквивалента без загрязнения окружающей среды может обеспечить только атомная энергетика. Альтернативы пока нет.

Основные требования к атомной энергетике были сформулированы Э. Ферми, еще в 1947 году (Fermi's Dream): безопасность, экономичность, решение проблемы радиоактивных отходов и нераспространение ядерного оружия, и до сих пор сохранили свою актуальность [Водолага, Кузнецов 2022, 273–278].

В настоящее время ни одна энергетическая система в полной мере не удовлетворяет перечисленным критериям выбора, наиболее близка к приемлемому решению атомная энергетика на основе реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым ЯТЦ. Окончательный вывод может быть сделан после завершения строительства первого полномасштабного опытного образца с инфраструктурой пристанционного ЯТЦ БРЕСТ-ОД-300 и результатов его опытной эксплуатации [Адамов и др. 2020].

**Первое требование — безопасность.** Одно из важнейших достоинств реакторов на быстрых нейтронах — их внутренне присущая безопасность, основанная на физических принципах и фундаментальных законах природы, а не на усложнении инженерных барьеров и организационных мероприятиях. Основная ее особенность заключается в том, что в течение кампании на уране-238 нарабатываются новые ядра плутония взамен выгоревших и не нужен большой запас реактивности для компенсации выгорания. Такая безопасность гарантирует отсутствие реактивных аварий, требующих эвакуации населения.

К настоящему времени среди противников атомной энергетики сложился набор аргументов прежде всего относительно ее безопасности [Brook, Lowe 2010]. Однако показано, что по количеству смертей атомная энергетика занимает последнее место наработанную энергию 1012 Вт час (90, 150, 440 и 4400 — атомная, ветровая, солнечная и газовая соответственно)<sup>13</sup>. В многочисленных публикациях отмечается [Turkson et al. 2020], что устойчивое производство энергии — одно из важнейших требований экономического развития. Есть веские доказательства того, что ядерная энергетика станет важным составным элементом системы устойчивой энергетики будущего [Gasparatos et al. 2017].

Второе требование — экономичность. Строительство ядерного реактора дороже углеводородной электростанции, что в системе рыночной экономики имеет существенное значение. Однако не исключено, что в будущем дефицит энергии скорректирует роль ее стоимости, а значит, и экономическую приемлемость, поскольку, если жизни человека угрожает смертельная болезнь, он готов платить за лекарство любую цену. К примеру, масштаб производства солнечной

<sup>13</sup> Подсчитана летальность различных видов энергетики: угольная на первом месте, атомная на последнем // Газета.ru [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gazeta.ru/science/news/2012/06/14/n\\_2389337.shtml#t22657519](http://www.gazeta.ru/science/news/2012/06/14/n_2389337.shtml#t22657519) (дата обращения 23.05.2022).

энергии стремительно нарастает, несмотря на то, что она в четыре раза дороже ядерной<sup>14</sup>. Поэтому критерий экономичности из-за сравнения с углеводородными энергоисточниками может вначале отойти на второй план, а затем, при исчерпании нефти и газа, упадет.

Критерий экономичности одновременно должен учитывать обеспечение сырьем в течение достаточно продолжительного срока, не менее нескольких столетий. Запасы энергии на Земле ограничены, большая их часть (~97%) заключена в ядрах атомов урана и тория, а на долю других источников останется менее 3%. При анализе литературных данных о запасах первичных источников энергии необходимо учитывать, что информация о запасах сырья для атомной энергетики (урана, тория и лития) по разным литературным источникам заметно различается, но даже в условиях неопределенности запас углеводородов находится на уровне единиц процентов от общих запасов энергии.

В Таблице 1 представлены по состоянию на 2013–2015 гг. разведанные и извлекаемые запасы сырья, интенсивность его использования и срок исчерпания. Запасы сырья стремительно уменьшаются, а обнаружение новых месторождений уже маловероятно. Хотя совершенствование энерготехнологий сможет незначительно отодвинуть срок исчерпания, однако не изменяет общую картину, и Таблица 1 убедительно демонстрирует, что в течение нескольких ближайших поколений углеводородная энергетика закончится.

**Таблица 1. «Шагреновая кожа» современных энергоносителей и технологий<sup>15</sup>**

Энергоноситель	В целом по миру			Россия		
	Запасы	Потребление в год	Срок исчерпания, лет	Запасы	Потребление в год	Срок исчерпания, лет
Нефть, млрд т	232	4,85	50–60	13	0,5	25–30
Газ, трлн м <sup>3</sup>	187	3,7	~50	40–50	0,6–0,7	60–70
Уголь, млрд т	~1000	8	~120	150–170	0,35	~450
Тепловые реакторы с открытым ЯТЦ, тыс. ГВт	90	0,75	120	9	0,045	200
Быстрые реакторы с замкнутым ЯТЦ, тыс. ГВт	15000	11	1500	15000	1,2	1300

Сроки исчерпания углеводородных энергоресурсов, представленные в Таблице 1, оценивались во многих работах на протяжении последних десятилетий; погрешности оценок можно оценить в 30–50 лет, то есть время, соизмеримое со временем жизни 1–2 поколений людей. Такая оценка важна для живущего поколения, но безразлична для цивилизации — поколением раньше или поколением позже, но нефть и газ закончатся, останется уголь. Если заблаговременно не подготовить ему экологически чистую замену, то массовое сжигание угля и залповый выброс в атмосферу ~3 трлн т CO<sub>2</sub> (в настоящее время в атмосфере содержится около 2 трлн т CO<sub>2</sub>) приведут к серьезным последствиям, и дальнейшее развитие станет еще сомнительнее.

<sup>14</sup> Без ядерной энергетики у нынешней цивилизации нет будущего // Атомный эксперт [Электронный ресурс]. URL: <https://atomicexpert.com/page3177835.html> (дата обращения 23.05.2022).

<sup>15</sup> Составлено авторами по [Белая книга ядерной энергетики 2020, 35–36].

В атомной энергетике на основе быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ энергия и отходы, нормированные на единицу массы сырья, на ~5–6 порядков превышают в лучшую сторону показатели существующей углеводородной энергетике. Это единственный доступный человечеству в настоящее время экологически чистый источник, способный производить энергию в необходимых масштабах.

**Третье требование — масштаб отходов.** Уровень выбросов CO<sub>2</sub> в окружающую среду для разных станций, нормированный на 1 кВт ч энергии, составляет для угольных электростанций 800–1000, для газовых 400–500 и для атомных 5–6 г CO<sub>2</sub>-экв/кВт ч<sup>16</sup>. Для сравнения: в углеводородной энергетике ежегодно сбрасывается в атмосферу ~30 млрд т углекислого газа.

Что касается отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), которое сегодня рассматривается во многих странах как радиоактивные отходы, то ежегодно в мире в атомной энергетике на тепловых реакторах с открытым топливным циклом нарабатывается около 10 тыс. т. ОЯТ. Всего же в мире накоплено около 300 тыс. т. При переходе на замкнутый ядерный топливный цикл масштаб накопления ОЯТ существенно снизится. При этом следует отметить, что сжигание угля в ТЭС высвобождает в окружающую среду радионуклиды, которые могут составлять около 500 Бк на килограмм сожженного угля [Сидорова, Крылов 2017]. Принимая во внимание объемы сжигаемого на ТЭС угля, можно говорить о достаточно серьезных радиоактивных выбросах.

Объемы радиоактивных отходов (РАО) в атомной энергетике малы, они в сотни раз меньше бытовых и в тысячи раз — промышленных. Малый объем РАО позволяет специалистами ГК «Росатом» обеспечивать гораздо более высокий уровень их изоляции и безопасности. В настоящее время у населения больше проблем с бытовыми отходами: например, в крупных мегаполисах они уже выходят на первый план, а микропластик обнаружен в самых отдаленных районах планеты.

**Четвертое требование — проблемы нераспространения ядерного оружия (ядерного нераспространения).** В настоящее время в мире уже существует потенциальный риск ядерного распространения, который возникает из взаимосвязи растущих и все более распространяемых знаний о ядерном оружии, расширения использования и совершенствования гражданских ядерных технологий в целом и обращения больших количествах ядерных материалов в них. В каждом из почти 400 полноразмерных легководных ядерных реакторов, работающих сегодня в мире, находится около 100 тонн низкообогащенного урана, и ежегодно в нем производится около 0,2 т плутония. Однако без установок по изотопному обогащению урана и переработки ОЯТ потенциальный риск, связанный с этими реакторами, чрезвычайно мал. Это же относится и к рискам переключения ядерного материала на реакторах на быстрых нейтронах [Горин и др. 2021b].

Дополнительными гарантиями того, что мирная ядерная деятельность государств не будет использована для производства ядерного оружия служит применение проверочных мер в рамках системы гарантий МАГАТЭ. В настоящее время они включают анализ всей доступной Агентству информации, а также современные технологии учета и контроля ядерных материалов, одновременно прорабатываются возможности компьютерного анализа больших массивов открытой информации [Горин и др. 2021c].

<sup>16</sup> Исследования: Безуглеродный атом. С. 4 // Атомный эксперт [Электронный ресурс]. URL: <https://atomicexpert.com/8-november-2021> (дата обращения 23.05.2022).

Если же говорить о новых ядерных технологиях, разрабатываемых в России, то на примере энергетической системы на базе реактора БРЕСТ-ОД-300 можно сказать, что на путях потенциального нарушения режима ядерного нераспространения существуют достаточно эффективные технические барьеры [Горин и др. 2021d]:

- в технологиях рефабрикации ядерного топлива не выделяется плутоний;
- исключены ураносодержащие воспроизводящие экраны, нарабатывающие плутоний оружейного качества;
- неполная очистка отработавшего ядерного топлива от продуктов деления повышает радиационную самозащищенность нового топлива;
- все производства топливного цикла расположены на площадке атомной станции, и исключены промежуточные хранилища и перевозки с риском хищения или утери ядерных материалов;
- отказ от использования изотопного обогащенного урана усиливает режим ядерного нераспространения.

Широкое использование реакторных систем на быстрых нейтронах подобного типа приведет к постепенному освобождению хранилищ плутония и переработке всего ОЯТ современных АЭС. Это будет самым заметным действием по снижению количества плутония и потенциального риска ядерного распространения.

Из вышесказанного следует, что атомные энергетические системы на основе реакторов на быстрых нейтронах с внутренне присущими свойствами ядерной безопасности и устойчивости к ядерному распространению достаточно безопасны. Последствия любой аварийной ситуации, а они неизбежны, как на любом производстве, не выходят за пределы промышленной площадки и не влияют на условия жизни населения, проживающего вблизи станции.

Принимая во внимание, что углеродный след от таких атомных энергетических систем на два порядка меньше, чем для наиболее популярных в настоящее время газовых станций, а топливом они обеспечены на тысячелетие и не производят сколь-нибудь значительных объемов отходов, проблемы ядерного нераспространения близки к разрешению; наилучшей энергетической системой для достижения ЦУР как ООН, так и России являются атомные энергетические системы на основе реакторов на быстрых нейтронах с внутренне присущими свойствами ядерной безопасности и устойчивости к ядерному распространению.

### ***Отношение общества к ядерным технологиям***

Известно, что все новые прорывные технологии всегда появлялись при соблюдении двух основных условий: они должны быть востребованы обществом и для них должны быть готовы научная, технологическая и производственная базы. Эти условия в полной мере были реализованы более полувека назад при создании ядерного оружия в США и затем в СССР. Для этих целей была оперативно создана производственная база, а по сути дела, новая отрасль промышленности.

Дальнейшее гражданское применение технологий, созданных в результате реализации этих проектов, было связано с зарождающейся на тот момент атомной энергетикой. Следует отметить, что полвека назад прогнозы ее развития были оптимистичны. Однако они не сбылись прежде всего из-за ряда серьезных аварий на АЭС и недостаточного количества дешевого углеводородного

сырья. В настоящее время приходит осознание экологической опасности массового использования углеводородов, и поэтому переход на экологически чистые источники энергии, включая атомную энергетику, становится практически неизбежным.

Однако наличие устоявшихся в обществе стереотипов опасности атомной энергетики до сих пор формирует весьма сдержанное отношение населения к ее развитию. Этому во многом способствует надежда на решение всех энергетических и экологических проблем за счет солнечной и ветровой энергии. Это формирует позицию населения, при которой нет ни явных протестов, ни активной поддержки развития атомной энергетики. При отказе от стереотипов и иллюзий атомная энергетика предстанет перед населением как обычная отрасль промышленности, не привлекающая повышенного внимания.

Отношение к проблемам экологии и атомной энергетике в России во многом обусловлено неоднородностью ситуации в разных регионах страны, и интерес к экологической проблематике ниже, чем к здравоохранению, социальному обеспечению и уровню доходов. Для России экологическая повестка остается локализованной<sup>17</sup>. Большинство населения не определилось со своим отношением и находится где-то посередине между безоговорочным отрицанием ядерной энергетики и полной поддержкой с востребованным отношением [Мельникова и др. 2018]. Одновременно социологические опросы показывают поддержку населением ядерных технологий, но, как правило, в местах размещения крупных ядерно- и радиационно-опасных объектов: атомных станций, крупных НИИ или ядерных производств, которые являются градообразующими предприятиями. На этих предприятиях трудятся радиационно грамотные специалисты, столь же грамотны члены их семей, и у населения нет стереотипов и иллюзий.

В настоящее время Россия лидирует в создании быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ и планирует выходить с ними на международный рынок [Gorin et al. 2022]. Для формирования потребности в ядерных технологиях на мировом рынке и у потенциальных получателей таких технологий необходима информационная работа по разъяснению преимуществ атомной энергетики и российских ядерных технологий в достижении целей устойчивого развития этих стран [Горин и др. 2021a].

Этому способствовала бы публикация информационных материалов не только в специализированных научно-технических изданиях, но и в гуманитарных научных и общественно-политических журналах. В наиболее простой форме должна подаваться информация, рассчитанная на обычных пользователей, далеких от атомной энергетики. Более углубленную подачу материала целесообразно сориентировать на представителей гражданских организаций, чья деятельность связана с энергетикой, в том числе ядерной, на лидеров и участников экологических и прочих подобных движений, представителей органов государственного управления, журналистов и пр.

Следует акцентировать внимание деловых кругов на экономических выгодах новых российских технологий в энергетической стратегии будущего. Аналогично следует выделить материалы, но уже в специализированных изданиях, для специалистов по ядерной и радиационной безопасности, математическому моделированию, инновационным технологическим решениям, таким как роботизация процессов переработки ОЯТ и пр.

Разнообразие вариантов воздействия на разные категории населения должно создать в общественном мнении устойчивое представление о том, что мир движется к эпохе новой атомной энергетики, в которых Россия достигла существенных успехов. Формирование такого представления следует начинать заблаговременно до полной готовности к выходу на рынок с референтным продуктом, поскольку запаздывание снизит его коммерческий успех.

<sup>17</sup> Богомолова Е. Экология в зеркале общественного мнения. С. 60–61 // Атомный эксперт [Электронный ресурс]. URL: [https://atomicexpert.com/ae\\_6\\_2022](https://atomicexpert.com/ae_6_2022) (дата обращения 23.05.2022).

### **Заключение**

Если человечество и дальше будет загрязнять окружающую среду за счет сжигания углеводородного топлива, то достижение целей устойчивого развития, особенно ЦУР 7, 12, 13 и 15, сомнительно. Поэтому долю экологически чистой энергетики в энергетическом балансе необходимократно увеличивать от ~5% в настоящее время до ~50–70%. Солнечная и ветровая энергетики и все остальные возобновляемые источники с этой задачей не справятся, так как у них малая плотность потока энергии.

Для достижения целей устойчивого развития необходима атомная энергетика на новой технологической платформе с реакторами на быстрых нейтронах и замкнутым ЯТЦ. Принимая во внимание существующие стереотипы и фобии, в том числе социально-психологические аспекты радиационного воздействия и восприятий рисков, необходимо проводить соответствующую упреждающую разъяснительную работу, к которой должны быть готовы педагоги, медики, специалисты органов управления, экологи, а также политики и журналисты.

### **Список литературы:**

Адамов Е.О., Каплиенко А.В., Орлов В.В., Смирнов В.С., Лопаткин А.В., Лемехов В.В., Моисеев А.В. Быстрый реактор со свинцовым теплоносителем БРЕСТ: от концепции к реализации технологии // Атомная энергия. 2020. Т. 129. № 4. С. 185–194.

Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами / под общей редакцией проф. Е.О. Адамова. Москва: Издательство АО «НИКИЭТ», 2020.

Водолага Б.К., Кузнецов В.Н. Лев Феоктистов: Вспоминая прошлое, думал о будущем. Екатеринбург: Банк культурной информации, 2022.

Горин Н.В., Абрамова Н.Л., Нечаева С.В., Головихина О.С. Воспитание у населения востребованного отношения к атомной энергетике // Государственное управление. Электронный вестник. 2021а. № 87. С. 7–18. DOI: [10.24412/2070-1381-2021-87-7-18](https://doi.org/10.24412/2070-1381-2021-87-7-18)

Горин Н.В., Волошин Н.П., Чуриков Ю.И., Чебесков А.Н., Кучинов В.П., Васильев А.П., Моисеев А.В., Шепелев С.Ф., Скворцов Д.А., Журин С.И., Шидловский В.В., Кривцов А.В. Обеспечение режима ядерного нераспространения при экспорте реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым топливным циклом // Атомная энергия. 2021б. Т. 130. № 1. С. 48–51.

Горин Н.В., Карманов А.Л., Первиненко В.Н., Власов В.В., Теплых Н.А., Кучинов В.П., Чебесков А.Н., Шидловский В.В. Обнаружение признаков нарушений обязательств по ядерному нераспространению государством-импортером быстрого реактора с установками замкнутого ЯТЦ // Атомная энергия. 2021с. Т. 131. № 4. С. 227–232.

Горин Н.В., Кузнецов Е.В., Кучинов В.П., Чебесков А.Н., Моисеев А.В., Шидловский В.В., Кривцов А.В. Барьеры на путях ядерного распространения при экспорте российских быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ (на примере БРЕСТ ОД-300) // Вестник НЯЦ РК. 2021д. № 4(88). С. 16–21. DOI: [10.52676/1729-7885-2021-4-16-21](https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-16-21)

Данилов-Данильян В.И. Устойчивое развитие и нескончаемые дискуссии о нем // Экологический ежегодник. 2008. № 2. С. 6–13.

Капица С.П. Модель роста населения земли и предвидимое будущее цивилизации // Мир России. Социология. Этнология. 2002. Т. 11. № 3. С. 22–43.

Мельникова Н.В., Артемов Е.Т., Бедель А.Э., Волошин Н.П., Михеев М.В. История взаимодействия ядерной энергии и общества в России. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018.

Сидорова Г.П., Крылов Д.А. Проблемы радиационной опасности в угольной энергетике // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 11. С. 200–209. DOI: [10.25018/0236-1493-2017-11-0-200-209](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-11-0-200-209)

Шидловский В.В., Горин Н.В., Кузнецов Е.В., Кучинов В.П., Чебесков А.Н., Васильев А.П., Моисеев А.В. Двухкомпонентная ядерная энергетическая система как переход к новой технологической платформе ядерной энергетике // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2022. № 3. С. 62–68.

Brook B.W., Lowe I. *Why vs Why: Nuclear Power*. Sydney: Pantera Press, 2010.

Duran S., Atasu A., Van Wassenhove L.N. *Cleaning after Solar Panels: A Circular Outlook* // SSRN. 2021. DOI: [10.2139/ssrn.3860571](https://doi.org/10.2139/ssrn.3860571)

Gasparatos A., Doll C. N. H., Esteban M., Ahmed A., Olang T.A. *Renewable Energy and Biodiversity: Implications for Transitioning to a Green Economy* // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 70. P. 161–184. DOI: [10.1016/j.rser.2016.08.030](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.030)

Gorin N.V., Yekidin A.A., Golovikhina O.S. *Nuclear Power in Russia's National Projects* // *Nuclear Energy and Technology*. 2021. Vol. 7. Is. 3. P. 181–186. DOI: [10.3897/nucet.7.72393](https://doi.org/10.3897/nucet.7.72393)

Gorin N.V., Kuchinov V.P., Krivtsov A.V., Orlov A.I., Shidlovskiy V.V., Matveeva D.B. *Export Prospects of Fast Reactors Designed in Russia with Closed Nuclear Fuel Cycle Facilities* // *Nuclear Energy and Technology*. 2022. Vol. 8. Is. 3. P. 153–159. DOI: [10.3897/nucet.8.80757](https://doi.org/10.3897/nucet.8.80757)

Meadows D.H., Meadows D.L., Panders J., Behrens W.W. *The Limits to Growth*. New York: University Books, 1972.

Meadows D., Randers J., Meadows D. *Limits to Growth. The 30-Year Update*. Vermont: Chelsea Green Publishing, 2004.

Pershukov V., Artisyuk V., Kashirsky A. *Paving the Way to Green Status for Nuclear Power* // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Is. 15. DOI: [10.3390/su14159339](https://doi.org/10.3390/su14159339)

Turkson C., Acquaye A., Liu W., Papadopoulos T. *Sustainability Assessment of Energy Production: A Critical Review of Methods, Measures and Issues* // *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 264. DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.110464](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110464)

### References:

Adamov E.O., Kaplienko A.V., Orlov V.V., Smirnov V.S., Lopatkin A.V., Lemekhov V.V., Moiseev A.V. (2020) Cooled Fast Reactor: from the Concept to the Technology Implementation. *Atomnaya energiya*. Vol. 129. No. 4. P. 185–194.

Adamov E.O. (ed.) (2020) *Belaya kniga yadernoy energetiki. Zamknuty YaTTs s bystryimi reaktorami* [White book of nuclear energy. Closed nuclear fuel cycle with fast reactors]. Moscow: Izdatel'stvo AO "NIKIET".

Brook B.W., Lowe I. (2010) *Why vs Why: Nuclear Power*. Sydney: Pantera Press.

Danilov-Danil'yan V.I. (2008). *Ustoychivoye razvitiye i neskonchayemyye diskussii o nem* [Sustainable development and never-ending discussions about it]. *Ekologicheskij ezhegodnik*. No. 2. P 6–13.

- Duran S., Atasu A., Van Wassenhove L.N. (2021) Cleaning after Solar Panels: A Circular Outlook. *SSRN*. DOI: [10.2139/ssrn.3860571](https://doi.org/10.2139/ssrn.3860571)
- Gasparatos A., Doll C. N. H., Esteban M., Ahmed A., Olang T.A. (2017) Renewable Energy and Biodiversity: Implications for Transitioning to a Green Economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 70. P. 161–184. DOI: [10.1016/j.rser.2016.08.030](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.030)
- Gorin N.V., Yekidin A.A., Golovikhina O.S. (2021) Nuclear Power in Russia's National Projects. *Nuclear Energy and Technology*. Vol. 7. Is. 3. P. 181–186. DOI: [10.3897/nucet.7.72393](https://doi.org/10.3897/nucet.7.72393)
- Gorin N.V., Kuchinov V.P., Krivtsov A.V., Orlov A.I., Shidlovskiy V.V., Matveeva D.B. (2022) Export Prospects of Fast Reactors Desined in Russia with Closed Nuclear Fuel Cycle Facilities. *Nuclear Energy and Technology* Vol. 8. Is. 3. P. 153–159. DOI: [10.3897/nucet.8.80757](https://doi.org/10.3897/nucet.8.80757)
- Gorin N.V., Abramova N.L., Nechaeva S.V., Golovikhina O.S. (2021a) Fostering Respectful Attitude towards Nuclear Industry. *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyy vestnik*. No. 87. P. 7–18. DOI: [10.24412/2070-1381-2021-87-7-18](https://doi.org/10.24412/2070-1381-2021-87-7-18)
- Gorin N.V., Voloshin N.P., Churikov Y.I. Chebeskov A.N., Kuchinov V.P., Vasiliev A.P., Moiseev A.V., Shepelev S.F., Skvortsov D.A., Zhurin S.I., Shidlovskiy V.V., Krivtsov A.V. (2021b) Nuclear Non-Proliferation Security on Exportation of Fast Reactors with a Closed Fuel Cycle. *Atomnaya energiya*. Vol. 130. No. 1. P. 48–51.
- Gorin N.V., Karmanov A.L., Pervinenko V.N., Vlasov V.V., Teplykh N.A., Kuchinov V.P., Chebeskov A.N., Shidlovsky V.V. (2021c) Detection the Violations of Nuclear Non-Proliferation Obligations by the State Importing Fast Reactor with Closed Nuclear Fuel Cycle. *Atomnaya energiya*. Vol. 131. No. 4. P. 227–232.
- Gorin N.V., Kuznetsov E.V., Kuchinov V.P., Chebeskov A.N., Moiseev A.V., Shidlovskiy V.V., Krivtsov A.V. (2021d) Barriers to Nuclear Proliferation in the Export of the Russian Fast Reactors with Closed NFC (Using Example Brest-Od-300). *Vestnik NYaTs RK*. No. 4(88). P. 16–21. DOI: [10.52676/1729-7885-2021-4-16-21](https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-16-21)
- Kapitsa S.P. (2002) Model' rosta naseleniya zemli i predvidimoye budushcheye tsivilizatsii [The model of the earth's population growth and the foreseeable future of civilization]. *Mir Rossii. Sotsiologiya. Etnologiya*. Vol. 11. No. 3. P. 22–43.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Panders J., Behrens W.W. (1972) *The Limits to Growth*. New York: University Books.
- Meadows D., Randers J., Meadows D. (2004) *Limits to Growth. The 30-Year Update*. Vermont: Chelsea Green Publishing.
- Mel'nikova N.V., Artemov E.T., Bedel' A.E., Voloshin N.P., Miheev M.V. (2018) *The History of Interaction between Nuclear Energy and Society in Russia*. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta.
- Pershukov V., Artisyuk V., Kashirsky A. (2022) Paving the Way to Green Status for Nuclear Power. *Sustainability*. Vol. 14. Is. 15. DOI: [10.3390/su14159339](https://doi.org/10.3390/su14159339)
- Sidorova G.P., Krylov D.A. (2017) Radiation Hazard Issues in the Coal Power Generation Industry. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. No. 11. P. 200–209. DOI: [10.25018/0236-1493-2017-11-0-200-209](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-11-0-200-209)
- Shidlovsky V.V., Gorin N.V., Kuznetsov E.V., Kuchinov V.P., Chebeskov A.N., Vasilyev A.P., Moiseev A.V. (2022) Two-Component Nuclear Power System as a Transition towards a New Technological Platform for Nuclear Power. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Yaderno-reaktornyye konstanty*. No. 2. P. 62–68.

Turkson C., Acquaye A., Liu W., Papadopoulos T. (2020) Sustainability Assessment of Energy Production: A Critical Review of Methods, Measures and Issues. *Journal of Environmental Management*. Vol. 264. DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.110464](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110464)

Vodolaga B.K., Kuznetsov V.N. (2022) *Lev Feoktistov: Vspominaya proshloe, dumal o budushchem* [Lev Feoktistov: Remembering the past thinking about the future]. Ekaterinburg: Bank kul'turnoy informatsii.

Дата поступления/Received: 28.09.2022