

АРГУМЕНТЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДДЕРЖКИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ОБЩЕСТВЕ

Н.В. Горин*, В.П. Кучинов, А.А. Екидин***, В.М. Декусар****,
А.В. Моисеев*****, В.В. Шидловский*******

**ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»
456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, 13*

***НИЯУ МИФИ*

115409, г. Москва, Каширское ш., 31

****ФГБУН Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН
620219, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 20а*

*****АО «ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И. Лейпунского»*

249033, Калужская обл., г. Обнинск, пл. Бондаренко, 1

******АО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала»*

107140, г. Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8

******АО «Прорыв»*

107140, г. Москва, ул. Малая Красносельская 2/8, корп. 4



Современная цивилизация достигла высокого уровня развития с энергоемким производством и массой материальных благ, но одновременно допустила загрязнение окружающей среды и, возможно, инициировав этим глобальное потепление. Основной загрязнитель – энергетика; каждая энерготехнология за время своего жизненного цикла неизбежно производит отходы и загрязняет окружающую среду, однако загрязнение от атомной энергетики по сравнению со всеми остальными минимально. В научной среде обсуждаются вопросы отказа от сжигания углеводородов и перехода на малоуглеродную энергетику, включая атомную. Однако в обществе еще не сложилось отношение к атомной энергетике как к безопасной и малоуглеродной. В этой связи показана необходимость изменения отношения населения к атомной энергетике, при том, что во многих странах не существует даже лояльного отношения к ней. Отмечено, что если поддержка атомной энергетики сформируется у педагогов, то это передастся школьникам как будущим гражданам, которые будут определять основные направления развития страны. Предложены аргументы для использования в дискуссиях с представителями технических и гуманитарных научных направлений о неизбежности перехода на новую энергетическую платформу на основе быстрых реакторов с замкнутым ядерным топливным циклом, что позволит на многие столетия вперед обезпечить реакторы топливным сырьем и минимизировать массы образующегося отработавшего топлива. Рекомендовано воспитывать востребованное отношение к атомной энергетике среди широкого круга стейкхолдеров, главным образом, в среде педагогов, школьников и студентов.

Ключевые слова: атомная энергетика, быстрые реакторы, замкнутый топливный цикл, общественность, стейкхолдеры, загрязнение окружающей среды, истощение ресурсов, устойчивое развитие.

Для цитирования: Горин Н.В., Кучинов В.П., Екидин А.А., Декусар В.М., Моисеев А.В., Шидловский В.В. Аргументы для формирования поддержки атомной энергетике в обществе. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 4. – С. 119-133. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.4.10>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время назрела необходимость в серьезной поддержке и даже востребованном отношении населения к атомной энергетике как единственной технологии, способной производить существенную часть энергии в ее мировом балансе без загрязнения окружающей среды парниковыми газами. Актуальность этого связана с растущим антропогенным воздействием на биосферу и, как следствие, возможным глобальным потеплением.

Рост антропогенного давления еще сто лет назад отмечал В.И. Вернадский (1926 г.), говоря о том, что масштабы человеческой деятельности стали соизмеримыми с масштабами общепланетарных процессов, а деятельность человека выступает в качестве мощной геологической силы, воздействие которой приводит к нарушению гомеостаза планеты [1]. Изменение климата и другие глобальные процессы, связываемые сегодня с человеческой деятельностью, в то время только зарождались и широкого внимания общественности еще не привлекали. Сегодня это не так, и внимание общественности сосредоточено на наиболее загрязняющих биосферу отраслях человеческой деятельности, одной из которых является энергетика.

Каждая энерготехнология с учетом своего жизненного цикла, начиная от добычи сырья и вплоть до вывода из эксплуатации энергетического объекта, оказывает негативное влияние на окружающую среду. В выбросах, сбросах и отходах атомной энергетике присутствует достаточно большая номенклатура вредных веществ. Однако их удельный показатель, нормированный на единицу энергии, существенно ниже, чем в любых других энергетических циклах, например, по выбросам CO₂ этот показатель кратно меньше – вплоть до десятков раз [2]. Это влияет на величины выбросов CO₂ в государствах с разными структурами энергетике [3–5]. Однако действенную поддержку атомная энергетика у общественности пока не получает, что может быть изменено при активной позиции определенных групп людей, например, педагогов, журналистов, медиков, депутатов, специалистов органов местного управления, к мнению которых население прислушивается [6–8].

Стратегия развития атомной энергетике «Стратегия-2018», принятая Госкорпорацией «Росатом», предполагает в среднесрочной перспективе (15–30 лет) переход к двухкомпонентной атомной энергетике с тепловыми (РТН) и быстрыми (РБН) реакторами в замкнутом ядерном топливном цикле (ЯТЦ) [9–11].

В статье рассмотрен ряд аспектов, которые могут влиять на отношение к атомной энергетике – рост численности населения мира, зависимость уровня жизни населения от обеспечения энергией, углеродоемкость энергетике, ее обеспеченность топливными ресурсами и особенности биосферной совместимости. В связи с этим предложены аргументы для дискуссий с разными группами стейкхолдеров о неизбежности перехода на атомную энергетике на основе тепловых и быстрых реакторов в замкнутом ЯТЦ с последующим переходом на быстрые реакторы. Как представляется, таких аргументов не должно быть много – необходимо несколько доходчивых и обоснованных аргументов, ориентирующих население на поддержку атомной энергетике.

В предисловии к «Белой книге-2000» [12] министром Минатома Е.О. Адамовым было отмечено, что «...Многие годы ядерные специалисты вообще не тратили время на работу с общественностью, считая, что власть предрешающие обладают должной информацией и квалификацией для принятия правильных решений. В условиях авторитарного общества это было и оправдано, и разумно...». Однако в настоящее время ситуация кардинально изменилась и мнение общественности может даже преобладать над всеми остальными аргументами. Следует учитывать, что информирование населения предусмотрено требованиями российского законодательства и рекомендациями МАГАТЭ [13, 14].

ЗНАЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ В ОБЩЕСТВЕ

Количество потребляемой энергии в каждой стране – представительный показатель ее экономического развития. Он характеризует уровень жизни населения, потребление им материальных благ и природных ресурсов. Действительно, наибольшее потребление энергии наблюдается в странах с высоким уровнем жизни, для которых индекс человеческого развития очень высок и превышает величину 0,9¹. В странах с малым потреблением энергии, например, в Гватемале и Нигерии, индексы человеческого развития – 0,66 и 0,54 соответственно [15].

Одним из первых связь потребления энергии с уровнем жизни населения страны показал П.Л. Капица в докладе на юбилейной сессии Академии наук СССР (1975 г.) [16]. Современный вид этой связи на примерах ряда стран мира, подготовленный авторами по материалам [17], представлен на рис. 1 (энергия выражена в килограммах нефтяного эквивалента, 1 кг н.э. = 41,868 МДж). На его основе можно проследить связь уровня жизни населения страны с обеспечением энергией. Резкое различие в уровнях жизни коррелирует со столь же резким (до десятков раз) различием в энергообеспечении населения стран «золотого миллиарда» с беднейшими странами мира.

Численность населения трех десятков стран, для которых представлена зависимость на рис. 1, превышает 5 млрд чел., и можно утверждать, что зависимость характерна для всей цивилизации. Каждая страна будет стремиться повысить свой уровень жизни, а для этого необходим доступ к энергии. Недаром одной из целей устойчивого развития ООН является Цель № 7 – недорогостоящая и чистая энергия.

В настоящее время экологические проблемы становятся определяющими с точки зрения как общего загрязнения окружающей среды, так и климатических изменений, хотя пока причины глобального потепления окончательно не определены. В таблице 1 представлены выбросы CO₂ в производствах электроэнергии крупнейшими странами [3]. Они кратно меньше во Франции, производящей ~70% энергии за счет атомной энергетики, и в Бразилии, производящей ~85% энергии от возобновляемых источников, в том числе ~63% за счет гидроэнергетики. Такие страны как Индия, Китай и Индонезия, население которых составляет около 40% населения планеты, наиболее сильно загрязняют атмосферу выбросами CO₂ [3–5] и именно им в первую очередь необходимо принимать меры для снижения выбросов.

БИОСФЕРНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Современные средства массовой информации широко обсуждают новый технологический уклад и критикуют масштабы потребления, но общество продолжает жить в рамках парадигмы, возникшей тысячелетия назад, – рост и удовлетворение потреб-

¹ Индекс человеческого развития – статистический сводный индекс ожидаемой продолжительности жизни, образования и показателей дохода на душу населения, который используется для ранжирования стран по уровням развития

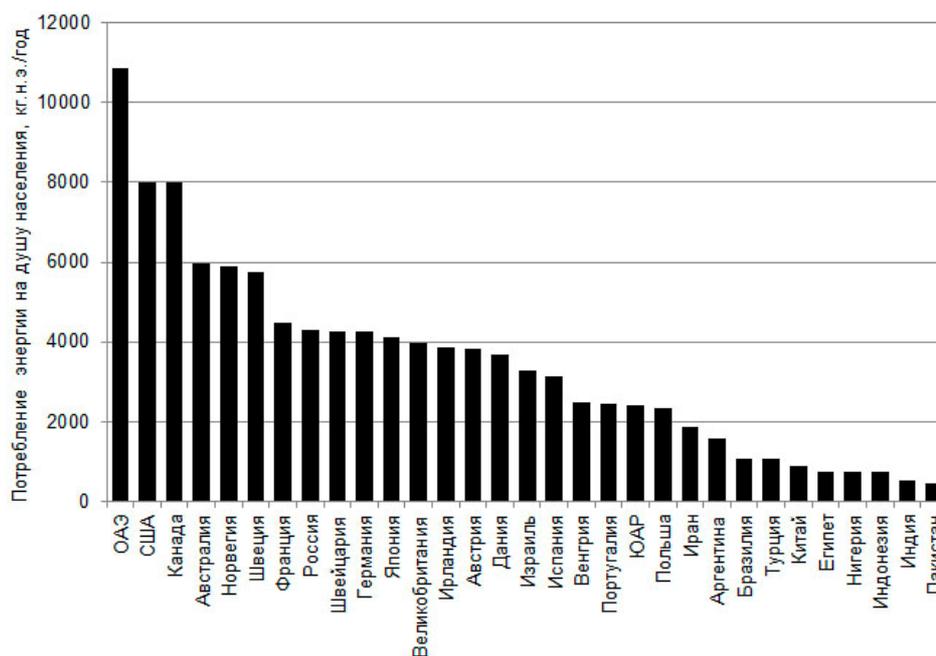


Рис.1. Потребление энергии на душу населения в разных странах

Таблица 1

Выбросы углерода в производствах электроэнергии в крупнейших странах

Страна	Выбросы CO ₂ , г-CO ₂ /кВт·ч
Индонезия	761
Индия	708
Китай	555
Япония	506
США	453
Германия	378
Италия	338
Россия	325
Великобритания	233
Бразилия	70
Франция	39

ностей при отношении к окружающей среде как к бесконечному источнику сырья и неограниченному объему утилизации отходов. Связанные с этим издержки из-за роста антропогенного воздействия на биосферу [1], истощения ресурсов и загрязнения окружающей среды еще не воспринимаются в полной мере в качестве угроз, а лишь являются предметами обсуждения ученых и политиков.

В доиндустриальный период своего развития человечество использовало практически единственное топливо – древесину. При ее сжигании выделялся углекислый газ – тот самый, который был изъят из атмосферы фотосинтезом и преобразован

в массу дерева за несколько десятилетий до сжигания. Запаздыванием в десятки лет при рассмотрении глобальных биосферных процессов можно пренебречь и считать, что равновесие CO_2 в природе при таком способе получения энергии не нарушалось и загрязнения окружающей среды не было. Оно появилось в результате промышленной революции в XVIII в., когда потребовалось более энергоемкое топливо, началось сжигание накопленных природой за сотни миллионов лет запасов угля, нефти и газа, связанный в них углерод стал поступать в атмосферу и нарушать сложившийся баланс. Допустимый уровень воздействия на биосферу к началу XXI в. человек существенно превысил. Оценки варьируются, однако кратное превышение пределов воздействия экологами не оспаривается [18].

Биосфера находится в кризисе, одна из причин которого связана с загрязнением окружающей среды, и энергетика – один из основных загрязнителей. Учитывая это, парадигму развития, скорее всего, придется корректировать и предлагать технологию, производящую на несколько порядков больше энергии и меньше отходов, нормированных на единицу массы сырья. Небольших различий недостаточно, так как рост численности и потребностей населения нейтрализует достигнутые достоинства.

Такой технологией является атомная энергетика. В таблице 2 представлено сравнение угольной и атомной энергетик с точки зрения энергоемкости топлива, масс сырья и образующихся отходов при производстве 1 ГВт(эл)-год энергии. Следует сравнить величины энергии, выделяющиеся в единичных актах ее получения в углеводородной и атомной энергетике, масштабы потребления сырья и, соответственно, отходов на современных угольных и атомных станциях. При переходе на реакторы на быстрых нейтронах (РБН) с замкнутым ядерным топливным циклом (ЯТЦ) разница в потреблении сырья и образовании отходов станет еще более впечатляющей, однако безотходность замкнутого цикла нуждается в экспериментальном обосновании.

Таблица 2

Массы сырья и образующихся отходов при производстве 1 ГВт(эл)-год энергии в угольной и атомной энергетике

	Угольная энергетика	Атомная энергетика
Основная реакция получения энергии и энергоемкость топлива	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 4,2 \text{ эВ}$ ~ 15–30 МДж/кг угля	$\text{U, Pu} + \text{n} \rightarrow 2 \text{ осколка} + \sim 200 \text{ МэВ}$ ~ $5,7 \cdot 10^6$ МДж/кгU в тепловом реакторе ~ $8,1 \cdot 10^7$ МДж/кгU в РБН
Массы сырья и отходов при производстве 1 ГВт(эл)-год	3,3 млн. т угля и 6,3 млн. т кислорода Сбрасывается в атмосферу ~ 9,1 млн.т CO_2 и образуется ~ 0,5 млн. т золы	Для тепловых реакторов с открытым топливным циклом 150 т урана с образованием 15 т ОЯТ Для РБН в замкнутом ЯТЦ используется обедненный уран Выбросов CO_2 в атмосферу нет

Современная атомная энергетика, в основном, на тепловых реакторах в открытом топливном цикле оказывает существенно меньшее влияние на окружающую среду, чем углеводородная энергетика, но, тем не менее, полностью не удовлетворяет требованиям биосферной совместимости по следующим причинам:

- в современных энергоблоках на тепловых нейтронах предусмотрен значительный запас реактивности; в реакторах на быстрых нейтронах такой запас не нужен;
- атомная энергетика с тепловыми реакторами в открытом топливном цикле обеспечена запасами основного делящегося изотопа ^{235}U примерно на столетие, и для нее уже становятся актуальны ресурсные ограничения;
- пока не решены проблемы отработавшего ядерного топлива (ОЯТ);

- пунктов захоронения твердых РАО 1-го и 2-го классов в России нет. Строящиеся пункты позволят захоронить только часть существующих и прогнозируемых твердых РАО 3-го и 4-го классов.

Основные четыре требования к атомной энергетике, позволяющие широко и надежно распространить ее в мире и названные «мечтой Ферми» (Fermi's Dream), были сформулированы Э. Ферми сразу же после создания ядерного оружия в США. Требованиями были безопасность, исключающая влияние любой техногенной аварии на условия жизни населения; способность экономически конкурировать с углеводородным топливом; решение проблем отработавшего топлива и радиоактивных отходов; исключение возможности распространения ядерного оружия. Эти условия до сих пор актуальны, и все вместе никогда не выполнялись. Действительно, аварии в Чернобыле (СССР) и Фукусиме (Япония) потребовали эвакуацию и отселение населения с отчуждением прилегающих территорий, количество ОЯТ продолжает накапливаться, а решение его судьбы откладывается на неопределенное будущее. Для современной атомной энергетики пока требуется производство обогащенного урана, которое представляет наибольшую опасность для режима ядерного нераспространения.

Вместе с тем для РБН с замкнутым ЯТЦ могут быть выполнены все четыре упомянутые выше требования Э.Ферми.

Безопасность. В результате работ последних десятилетий существенно снижен риск возникновения аварийных ситуаций на действующих и проектируемых реакторах, например, проекты реакторов IV поколения БН-1200 и БРЕСТ-ОД-300 исключают аварии, требующие отселения населения [19]. Будущие РБН – реакторы с внутренне присущей безопасностью, что существенно ограничивает масштаб аварийного энерговыделения при запроектной аварийной ситуации и исключает необходимость отселения населения, т.е. последствия аварий останутся локализованы в пределах промышленной площадки.

Применение интегральной компоновки реактора для исключения потерь теплоносителя, широкое использование пассивных защитных и локализирующих систем безопасности, резервирование систем нормальной эксплуатации позволяют существенно повысить надежность.

Экономичность и ресурсная база. До настоящего времени относительно дешевое углеводородное топливо (уголь, нефть и газ) обеспечивали более приемлемую себестоимость «углеводородного» электричества. Это наглядно видно на примере России, для которой граница выгоды от применения атомных станций проходит по Уралу. Действительно, все российские АЭС большой мощности расположены в западной части страны, в восточной части с большими запасами угля, газа и гидроресурсов мощных АЭС нет. Ниже будет показано, что использование разведанных запасов углеводородного сырья ограничено примерно столетием, запасы угля больше, но его широкое применение неприемлемо по экологическим соображениям. Если в ближайшем будущем законодательно будет ограничено использование углеводородного сырья, например, угля из-за загрязнения окружающей среды, то иной энерготехнологии, кроме атомной энергетики с замыканием ЯТЦ для масштабного производства энергии в мире не останется, по крайней мере, до появления термоядерной технологии.

Ядерное нераспространение. Каждый работающий энергетический тепловой реактор нарабатывает плутоний, и, следовательно, мир уже обладает огромным потенциалом ядерного распространения. Однако действующий международный режим ядерного нераспространения на основе Договора о нераспространении ядерного оружия позволяет контролировать проблему. Для РБН с замкнутым ЯТЦ исключено производство обогащенного урана – наиболее уязвимого элемента с точки зрения

ядерного распространения, а также предложены другие технологические барьеры на пути ядерного распространения [20, 21].

Решение проблем высокоактивных отходов. Предложенные технологии замкнутого ЯТЦ решают отложенные проблемы как образующегося, так и переработки уже накопленного ОЯТ [22].

Таким образом, атомная энергетика с замкнутым ЯТЦ позволит существенно увеличить долю энергии в энергетическом балансе при наилучшем удовлетворении требованиям биосферной совместимости и минимальном влиянии на окружающую среду.

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время в мире ежегодно производится 14,3 млрд. т н.э. энергии ($\sim 6 \cdot 10^{20}$ Дж), и энергетические потребности на производстве, транспорте и в быту удовлетворяются, в основном, за счет сжигания углеводородов (угля, нефти и газа). Их доля в мировом балансе составляет около 80%. Остальные ~20% распределяются между биотопливом (~10%), не нарушающим баланс CO_2 в атмосфере, атомной (~5%) и гидроэнергетикой (~2,5%). Доли солнечной и ветровой энергетик (~2%) в энергетическом балансе невелики. В атмосферу сбрасывается ~36,3 млрд. т CO_2 [4, 5]. Прогнозируется рост мощности в атомной энергетике с текущих 393,8 до 471 ГВт к 2030 г. [23].

Возобновляемые источники энергии (солнечная и ветровая) демонстрируют бурное развитие, но они не смогут обеспечить энергией население численностью ~8 млрд. чел. из-за низкой плотности потока энергии [16]. Высокую плотность потока энергии без выбросов CO_2 может обеспечить только атомная энергетика.

Вместе с тем приходится констатировать, что в настоящее время ядерная энергетика не сумела добиться лояльного отношения к себе у большинства населения даже там, где она используется [24, 25]. Более того, под давлением общественности в некоторых странах произошел отказ от атомной энергетики. В научных изданиях высказываются сомнения в возможностях современной атомной энергетики при сложившемся к ней отношении повлиять на климатические эффекты, но не предлагаются альтернативные решения [26]. Следует учитывать, что у населения продолжает существовать озабоченность в отношении безопасности ядерной энергетики, в частности, радиационных рисков, обращения с радиоактивными отходами и ядерного распространения. Это, конечно, влияет на признание населением ядерной энергетики как безопасного и надежного источника энергии, не влияющего на изменение климата.

В такой ситуации нельзя надеяться, что в ближайшее время все население изменит свое мировоззрение и потребует отказа от углеводородных энергоносителей и перехода на безуглеродные источники энергии. Представляется, что для начала будет достаточно, чтобы такой переход начался в странах, в наибольшей степени сбрасывающих углекислый газ в атмосферу.

Если же говорить о ресурсных проблемах современной энергетики, то значимость проблем обеспечения ее сырьем нарастает, и табл. 3 демонстрирует, что в течение нескольких ближайших поколений разведанные запасы с приемлемой стоимостью добычи, в основном, будут исчерпаны. Запасы углеводородов представлены в метрических единицах, запасы урана – в энергетических. Погрешность оценки сроков исчерпания ресурсов оценивается как ~50–70 лет, т.е. временем жизни двух-трех поколений людей.

Можно прогнозировать снижение потребностей в добыче урана за счет использования накопленных запасов обедненного гексафторида урана, и это неизбежно уменьшит загрязнение окружающей среды. Оно присутствует, например, в технологиях подземного выщелачивания, но за границы санитарно-защитной зоны не выходит [27].

Таблица 3

«Шагреновая кожа» современных энергоисточников [10]

Энергоноситель	Мир			Россия		
	Разведанные запасы	Потребление в год	Срок исчерпания, лет	Разведанные запасы	Потребление в год	Срок исчерпания, лет
Нефть, млрд т	232	4,85	~ 50	13	0,5	25–30
Газ, трлн м ³	187	3,7	~ 50	40–50	0,6–0,7	60–70
Уголь, млрд т	~ 1 000	8	~ 120	150–170	0,35	~ 450
U для тепловых реакторов с открытым топливным циклом, тыс. ГВт(э)-год*	~ 60	0,45	130	~ 6	0,045	130
U для РБН с замкнутым топливным циклом, тыс. ГВт(э)-год*	~ 10 000	~ 10	>1 000	1 000	~ 1	>1 000

*) Для 10 млн. т U. Запасы урана в мире оценены в количестве 8 млн. т со стоимостью извлечения <130 \$/кг (в России 0,635 млн. т) и 10 млн. т со стоимостью извлечения <260 \$/кг

ЧИСЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ

Немногом более 120-ти лет назад, когда население планеты составляло ~1,6 млрд. чел., уголь и нефть уверенно занимали лидирующее положение, природа еще справлялась с утилизацией относительно небольшого объема отходов, загрязнение окружающей среды практически не обсуждалось, и численность населения не связывалась с энергоносителями. Однако ситуация быстро изменилась, и через столетие превышение допустимого уровня воздействия начало ощущаться, так как природа уже не справлялась с утилизацией отходов от возросшей численности населения.

В ряде исследований показано, что рост численности населения до середины прошлого века происходил по гиперболическому закону, затем был достигнут эффект насыщения, и ожидается, что численность стабилизируется на уровне ~11–12 млрд. чел. [28]. Переход от роста к стабилизации уже пройден развитыми странами и прекратился в Европе и Северной Америке. Рост прогнозируется, главным образом, в Азии и Африке, т.е. с запаздыванием на полвека происходит в развивающихся странах.

Полуторный рост численности населения по отношению к современному уровню потребует пропорционального роста производства материальных благ и приведет к неизбежному росту загрязнения окружающей среды. Причина и источник загрязнения останутся неизменными – сжигание углеводородных энергоносителей.

ОБЩЕСТВЕННОЕ МНЕНИЕ

Общественное мнение консервативно, и менять его чрезвычайно трудно, особенно в эпоху огромных потоков информации из официальных каналов и неофициальных источников из интернета. В этой связи по инициативе Госкорпорации «Росатом» в 2016–2020 гг. проведены работы по общественной поддержке развития атомной энергетики и подготовлены информационные материалы для разных групп населения молодежи (школьников и студентов), взрослого населения, а также для тех категорий, с кем люди взаимодействуют индивидуально: для педагогов, медиков, специалистов местных органов самоуправления, журналистов [6–8].

Следует информировать молодежь о возможностях солнечной и ветровой энергетик, об опасности использования углеводородных энергоносителей и тем самым формировать положительное восприятие ядерной энергетики. Очевидно, что тогда в обществе появится понимание, что только атомная энергетика способна производить достаточно энергии с минимальным воздействием на окружающую среду.

ЗНАЧИМОСТЬ АРГУМЕНТОВ

Все рассмотренные выше факторы в пользу развития атомной энергетики взаимосвязаны, влияют друг на друга, ни одним из них не следует пренебрегать. По значимости на первое место следует поставить увеличение численности населения мира с нарастающими потребностями, удовлетворение которых стимулирует рост производства и потребления энергии и, как следствие, рост загрязнения, с утилизацией которого уже не справляется природа.

Важнейшими аргументами следует признать углеродоемкость мировой экономики и прогнозируемое стремление населения к повышению своего уровня жизни, что стимулирует развитие энергетики – пока углеводородной. В ближайшие десятилетия проявится ограниченность углеводородных ресурсов, и это потребует корректировок в энерготехнологиях.

К настоящему времени подтверждена работоспособность натриевой технологии быстрых реакторов при успешной эксплуатации в течение нескольких десятилетий реакторов БН-350 и БН-600, успешно эксплуатируется реактор БН-800. Завершается проектирование БН-1200, ведется сооружение опытно-демонстрационного реактора со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-ОД-300 на площадке ОДЭК. Планируется, что они обеспечат безопасность и эффективность в замкнутом ЯТЦ [29, 30]. Все это позволит отдавать предпочтение атомной энергетике по сравнению с углеводородной.

ООН приняла цели устойчивого развития в интересах всей цивилизации, в России приняты свои национальные проекты, выполнение которых должно обеспечить ее развитие. Одна из составляющих национальных проектов России – атомная энергетика [31].

Бесконечное потребление ресурсов в обществе и накопление отходов невозможно, и полвека назад на это было обращено внимание в работах Римского Клуба [32]. Было показано, что мир близок к пределам развития, они были подтверждены спустя 30 лет, и отмечено, что по некоторым критериям пределы устойчивого развития превышены [33].

Для достижения целей устойчивого развития следует обращать внимание на основную задачу, обозначенную как «недорогостоящая и чистая энергия», решение которой позволит достичь большинства поставленных целей. Однако необходимо понимать, что решение традиционными методами с использованием углеводородного топлива через несколько десятилетий вначале приведет в тупик, а затем, возможно, к экологической катастрофе.

Решить проблемы устойчивого развития сможет атомная энергетика, но для этого необходимо востребованное отношение населения к ее развитию, простой поддержки становится недостаточно. Общественное мнение должно потребовать развития атомной энергетики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Каждая энерготехнология за время своего жизненного цикла неизбежно производит отходы и загрязняет окружающую среду, однако загрязнение от атомной энергетики по сравнению с остальными минимально.

Рассмотрены важнейшие факторы, влияющие на развитие современного общества.

1. Загрязнение окружающей среды, в том числе из-за сжигания углеводородных энергоносителей при производстве материальных благ. Оно, возможно, ответственно за рост парникового эффекта и глобальное потепление.

2. Прогнозируемый полуторный рост численности населения мира, который потребует обеспечения энергией и материальными благами дополнительного населения, но вызовет пропорциональный рост отходов и загрязнение окружающей среды.

3. Зависимость уровня жизни страны от энергообеспечения на душу населения.

4. Углеродоемкость крупнейших экономик мира.

5. Дальнейшее сжигание углеводородного топлива, которое может привести к экологической катастрофе.

6. Лучшая биосферная совместимость атомной энергетики по сравнению с углеводородной.

Анализ совокупности факторов подводит к неизбежности перехода на атомную энергетику, и эти факторы следует рассматривать как аргументы в пользу ее развития. Специалистам атомной отрасли следует продвигать аргументы среди научной общественности и использовать их в дискуссиях с авторитетными категориями населения для последующего транслирования общественности. Без поддержки населения кардинально решить проблемы атомной энергетики невозможно. Наиболее важно продвигать аргументы среди педагогов, чтобы они были переданы школьникам как будущему населению страны.

Литература

1. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М.: Айрис-пресс, 2004. – 303 с.
2. Безуглеродный атом. // Атомный эксперт. – 2021. – №8. – С. 4.
3. Carbon Footprint Country Specific Electricity Grid Greenhouse Gas Emission Factors 2020. Электронный ресурс: https://www.carbonfootprint.com/docs/2020_07_emissions_factors_sources_for_2020_electricity_v1_3.pdf (дата доступа 11.05.2023).
4. Global Energy Review 2021. Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO₂ emissions in 2021. International Energy Agency. Электронный ресурс: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021> (дата доступа 23.04.2023).
5. Global Energy and CO₂ Status Report 2018. International Energy Agency. Электронный ресурс: https://www.eenews.net/assets/2019/03/26/document_cw_01.pdf (дата доступа 23.04.2023).
6. Горин Н.В., Абрамова Н.Л., Нечаева С.В., Головихина О.С. Воспитание у населения востребованного отношения к атомной энергетике. // Государственное управление. Электронный вестник. – 2021. – № 87. – С. 7-18. DOI: 10.24412/2070-1381-2021-87-7-18
7. Горин Н.В., Водолага Б.К., Кучинов В.П., Шидловский В.В. Атомная энергетика как основа устойчивого развития. // Государственное управление. Электронный вестник. – 2022. – № 95. – С. 7-19. DOI: 10.24412/2070-1381-2022-95-7-19
8. Горин Н.В., Абрамова Н.Л., Нечаева С.В. Продвижение в молодежной среде знаний об устойчивом развитии. // Государственное управление. Электронный вестник. – 2022. – № 93. – С. 52-64. DOI: 10.24412/2070-1381-2022-93-52-64
9. Двухкомпонентная ядерная энергетическая система с тепловыми и быстрыми реакторами в замкнутом ядерном топливном цикле / Под ред. Н.Н. Пономарева-Степного. – М.: Техносфера, 2016. – 139 с. Электронный ресурс: http://elib.biblioatom.ru/text/dvuhkomponentnaya-yadernaya-systema_2016/ (дата доступа 02.04.2023).
10. Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами. / Под общей редакцией проф. Е.О. Адамова. – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2020. – 495 с.
11. 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 энергетики. // ВАНТ. Серия «Ядерно-реакторные константы». – 2022. – Вып. 3. – С. 62-68.

12. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П., Высоцкий В.Л., Губин А.Т., Данилян В.А., Кобзев В.И., Крышев И.И., Лавковский С.А., Мазокин В.А., Никитин А.И., Петров О.И., Пологих Б.Г., Скорик Ю.И. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. «Белая книга-2000». – М.: ИздАТ, 2005. – 624 с.
13. Привлечение заинтересованных сторон к решению ядерных вопросов: INSAG-20. МАГАТЭ. – 2015.
Электронный ресурс: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1276_R_web.pdf (дата доступа 23.04.2023).
14. Федеральный закон от 21.11.1995 №170-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об использовании атомной энергии».
15. Атлас мира. Максимально подробная информация. Издание 17-е, исправленное и дополненное. – М.: ООО «Издательство АСТ Дизайн. Информация. Картография», 2022.
16. Капица П.Л. Энергия и физика. Доклад на научной сессии, посвященной 250-летию Академии наук СССР, Москва, 8 октября 1975 г.
17. Справочное издание «Атлас мира, обзорно-географический». Издание 13-е, исправленное и дополненное. – М.: ИЦП АСТ «Дизайн, Информация, Картография», 2019.
18. Данилов-Данильян В.И. Устойчивое развитие и нескончаемые дискуссии о нем. // Экологический ежегодник. – 2008. – № 2. – С. 6-13.
19. Ашурко Ю.М., Гулевич А.В., Клинов Д.А., Васильев Б.А., Васяев А.В., Марова Е.В., Шепелев С.Ф. Реализация критериев для реакторных систем четвертого поколения в проекте БН-1200. // Атомная энергия. – 2018. – Вып. 125. – № 6. – С. 311-317.
20. 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. – 2021. – № 4(88). – С. 16-21. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-16-21>
21. 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. – 2021. – Т. 131. – Вып. 4. – С. 227-232.
Электронный ресурс: <https://j-atomicenergy.ru/index.php/ae/article/view/4681/5100> (дата доступа 23.04.2023).
22. Кащеев В.А., Логунов М.В., Шадрин А.Ю., Рыкунова А.А., Шмидт О.В. Стратегия фракционирования ВАО от переработки ОЯТ. // Радиоактивные отходы. – 2022. – № 2 (19). – С. 6-16. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-2-6-16
23. Годовой отчет АО «Атомэнергпром». 2022.
Электронный ресурс: <http://www.atomenergoprom.ru> (дата доступа 23.04.2023).
24. Харви Ш. Стимулирование интереса молодежи к ядерной энергетике. // Бюллетень МАГАТЭ. – 2021. Вып. 62-1. – С. 20-21.
Электронный ресурс: <https://www.iaea.org/ru/bulletin/62-1> (дата доступа 23.04.2023).
25. Бильбао-и-Леон С. Как заставить мир посмотреть на ядерную отрасль под другим углом // Бюллетень МАГАТЭ. – 2021. Вып. 62-1. С. 28-29.
Электронный ресурс: <https://www.iaea.org/ru/bulletin/62-1> (дата доступа 23.04.2023).
26. Mueller N., Arnold N., Gufler K., Kromp W., Renneberg W., Liebert W. Nuclear energy – The solution to climate change? Energy Policy. – 155 (2021). – 112363.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112363>
27. Екидин А.А., Васильев А.В., Васянович М.Е., Назаров Е.И., Пышкина М.Д. Опыт проведения независимого общественного контроля радиационно опасных объектов. // Траектория исследований человек, природа, технологии. – 2023. – Вып. 1(5). – С. 87-103.
DOI: 10.56564/27825264_2023_1_87
28. Капица С.П. Модель роста населения земли и предвидимое будущее цивилизации. Электронный ресурс: http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/kapitsa_teoria.htm (дата доступа 11.05.2023).
29. Pershukov V., Artisyuk V., Kashirsky A. Paving the Way to Green Status for Nuclear Power. Sustainability. – 2022. – 14. – 9339. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159339>
30. Поплавский В.М., Цибуля А.М., Хомяков Ю.С., Матвеев В.И., Елисеев В.А., Цикунов А.Г., Васильев Б.А., Белов С.Б., Фаракин М.Р. Активная зона и топливный цикл для перспективного быс-

трого натриевого реактора. // Атомная энергия. – 2010. – Т. 108. – Вып. 4. – С. 206-211.
Электронный ресурс: <https://j-atomicenergy.ru/index.php/ae/article/view/1456/1437> (дата доступа 23.04.2023).

31. Горин Н.В., Екидин А.А., Головихина О.С. Атомная энергетика в национальных проектах России // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2021. – № 1. – С. 5-15.

DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2021.1.01>

32. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й., Беренс В.В. Пределы роста. – М.: МГУ, 1991.

33. Медоуз Д.Х., Рандерс Й., Медоуз Д.Л. Пределы роста. 30 лет спустя. – М.: ТКЦ «Академкнига», 2007.

Поступила в редакцию 06.07.2023

Авторы

Горин Николай Владимирович, ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н.,

E-mail: n.gorin@vniitf.ru

Кучинов Владимир Петрович, доцент,

E-mail: vkuchinov@bk.ru

Екидин Алексей Акимович, ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н.,

E-mail: ekidin@esko.uran.ru

Декусар Виктор Михайлович, ведущий научный сотрудник, к.т.н.,

E-mail: decouss@ippe.ru

Моисеев Андрей Владимирович, к.ф.-м.н.,

E-mail: a.moiseev@nikiet.ru

Шидловский Владимир Владиславович, к.т.н.,

E-mail: shvv@proryv2020.ru

UDC 502.53, 502.55

Arguments for Creation of Support for Nuclear Power in Society

Gorin N.V.*, Kuchinov V.P.**, Ekidin A.A.***, Dekusar V.M.****, Moiseev A.V.*****,
Shidlovsky V.V.*****

*FSUE «RFNC – VNIITF named after Academ. Ye.I. Zababakhin»

13 Vasilyev St., 456770 Snezhinsk, Chelyabinsk Reg., Russia

**MEPhI

31 Kashirskoye sh., 115409, Moscow, Russia

***Institute for Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

20a Sofiya Kovalevskaya St., 620219 Yekaterinburg, Russia

****IPPE JSC

1 Bondarenko Sq., 249033 Obninsk, Kaluga Reg., Russia

*****NIKIET JSC

2/8 Malaya Krasnoselskaya St., 107140 Moscow, Russia

*****Proryv JSC

2/8 Malaya Krasnoselskaya St., 107140 Moscow, Russia

ABSTRACT

Modern civilization has reached a high level of development with power-consuming industry and lots of material goods. At the same time, advances in technology have led to environmental pollution and have probably caused global warming effects. The major contributor to the pollution is power industry, each energy technology inevitably generating waste in the course of its lifecycle that contaminates the environment. However, nuclear power accounts for the smallest possible pollution level compared with

all other industries. Issues of abandoning the combustion of hydrocarbons and switching to low-carbon energy, including nuclear, have been under debate within the scientific community. Still, no perception of nuclear power as safe and low-carbon has been yet formed in society. In this connection, the need is shown for changing the attitude of the population towards nuclear power given the fact that there is no loyal attitude to it in many countries. It has been noted that the positive attitude towards nuclear power shaped in educators will be shared by students as future citizens who will set the national development trends. Arguments have been proposed to be used in discussions with engineering and humanitarian communities concerning the inevitability of switching to a new energy platform based on fast reactors with a closed fuel cycle, this expected to provide reactors with fuel for hundreds of years to come and minimize the amounts of spent fuel. It has been recommended that positive attitudes should be developed in a broad spectrum of stakeholders, largely among educators and secondary school and university students.

Keywords: nuclear power, fast reactors, closed nuclear fuel cycle, general public, stakeholders, environmental pollution, depletion of resources, sustainable development.

For citation: Gorin N.V., Kuchinov V.P., Ekin A.A., Dekusar V.M., Moiseev A.V., Shidlovsky V.V. Arguments for Creation of Support for Nuclear Power in Society. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2023, no. 4, pp. 119-133; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.4.10> (in Russian).

REFERENCES

1. Vernadsky V.I. *Biosphere and noosphere*. M. Iris-press, 2004, 303 p.
2. Carbon-free nuclear energy. *Atomic Expert*. 2021, no. 8, p. 4 (in Russian).
3. Carbon Footprint Country Specific Electricity Grid Greenhouse Gas Emission Factors 2020. Available at: https://www.carbonfootprint.com/docs/2020_07_emissions_factors_sources_for_2020_electricity_v1_3.pdf (accessed May 11, 2023)
4. Global Energy Review 2021. International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021> (accessed Apr. 23, 2023).
5. Global Energy and CO2 Status Report 2018. International Energy Agency. Available at: https://www.eenews.net/assets/2019/03/26/document_cw_01.pdf (accessed Apr. 23, 2023).
6. Gorin N.V., Abramova N.L., Nechaeva S.V., Golovikhina O.S. Fostering Respectful Attitude towards Nuclear Industry. *Public Administration E-journal*. 2021, no. 87, pp. 7-18. DOI: 10.24412/2070-1381-2021-87-7-18 (in Russian).
7. Gorin N.V., Vodolaga B.K., Kuchinov V.P., Shidlovskiy V.V. Nuclear Energy as a Basis for Sustainable Development. *Public Administration E-journal*. 2022, no. 95, pp. 7-19. DOI: 10.24412/2070-1381-2022-95-7-19 (in Russian).
8. Gorin N.V., Abramova N.L., Nechaeva C.V. Promotion of Sustainable Development among Youth. *Public Administration E-journal*. 2022, no. 93, pp. 52-64. DOI: 10.24412/2070-1381-2022-93-52-64 (in Russian).
9. Two-component Nuclear Power System with Thermal and Fast Reactors in a Closed Nuclear Fuel Cycle (Ed. Ponomarev-Stepnoy N.N.). Moscow. Tekhnosfera, 2016, 139 p. Available at: http://elib.biblioatom.ru/text/dvuhkomponentnaya-yadernaya-systema_2016/ (accessed Apr. 02, 2023) (in Russian).
10. White Book of Nuclear Energy. Closed Nuclear Fuel Cycle with Fast Reactors (Ed. Adamov E.O.). Moscow. JSC NIKIET Publ., 2020, 495 p. (in Russian).
11. Shidlovsky V.V., Gorin N.V., Kuznetsov E.V., Kuchinov V.P., Chebeskov A.N., Vasilyev A.P., Moiseev A.V. Two-Component Nuclear Power System as a Transition towards a New Technological Platform for Nuclear Power. *VANT. Ser: Yaderno-reaktornye konstanty*. 2022, no. 2, pp. 62-68 (in Russian).

12. Sivintsev Yu.V., Vakulovskiy S.M., Vasiliev A.P., Vysotskiy V.L., Gubin A.T., Danilyan V.A., Kobzev V.I., Kryshev I.I., Lavkovskiy S.A., Mazokin V.A., Nikitin A.I., Petrov O.I., Pologikh B.G., Skorik Yu.I. *Technogenic radionuclides in the seas surrounding Russia «White Book-2000»*. Moscow. Izdat, 2005, 624 p. (in Russian).
13. Stakeholder involvement in nuclear issues: INSAG-20. IAEA, 2015. Available at: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1276_R_web.pdf (accessed April 23, 2023).
14. Federal Law No. 170-FZ of November 21, 1995 (as amended on July 26, 2019) «On the Use of Atomic Energy» (in Russian).
15. Atlas of the world. The most detailed information. Edition 17, corrected and supplemented. Moscow. «Publishing house AST. Design. Information. Cartography», 2022.
16. Kapitsa P.L. Energy and Physics. *Report to the scientific session on the 250-th Anniversary of the USSR Academy of Sciences*, Moscow, 08.10.1975. Available at: http://vivovoco.astronet.ru/VV/PAPERS/KAPITZA/KAP_10.HTM (accessed May 11, 2023) (in Russian).
17. Reference publication «Atlas of the world, geographic overview». Edition 13, corrected and supplemented. Moscow. «Publishing house AST. Design. Information. Cartography», 2019.
18. Danilov-Danil'yan V.I. Sustainable development and never-ending discussions about it. *Ekologicheskii yezhegodnik*. 2008, iss. 2, pp. 6-13 (in Russian).
19. Ashurko Yu.M., Gulevich A.V., Klinov D.A., Vasil'ev B.A., Vasyaev A.V., Marova E.V., Shepelev S.F. Implementation of the Criteria for the Generation-IV Reactor Systems in the BH-1200 Design. *Atomic Energy*. 2019, vol. 125, pp. 351–358. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-019-00493-6>
20. Gorin N.V., Kuznetsov E.V., Kuchinov V.P., Chebeskov A.N., Moiseev A.V., Shidlovskiy V.V., Krivtsov A.V. Barriers to Nuclear Proliferation in the Export of the Russian Fast Reactors with Closed NFC (Using Example Brest-Od-300). *Vestnik NYaTs RK*, 2021, no. 4(88), pp. 16-21. DOI: <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-16-21> (in Russian).
21. Gorin N.V., Karmanov A.L., Pervinenko V.N., Vlasov V.V., Teplykh N.A., Kuchinov V.P., Chebeskov A.N., Shidlovskiy V.V. Detection of Indications of Nuclear Non-Proliferation Breaches by States Importing Fast Reactors with Closed NFC Installations. *Atomic Energy*. 2022, vol. 131, iss. 4, pp. 229-233. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-022-00864-6>
22. Kashcheev V. A., Logunov M. V., Shadrin A. Yu., Rykunova A. A., Schmidt O. V. Strategy for the fractionation of HLW from SNF reprocessing. *Radioactive Waste*. 2022, no. 2 (19), pp. 6-16. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-2-6-16 (in Russian).
23. Annual report of JSC Atomenergoprom 2022. Available at: <http://www.atomenergoprom.ru> (accessed Apr. 23, 2023).
24. Harvey S. Spurring youth interest in nuclear. *IAEA Bulletin*. 2021, vol. 62-1, pp. 20-21 Available at: <https://www.iaea.org/ru/bulletin/62-1> (accessed May 21, 2023).
25. Bilbao y Leyn S. Finding a new voice for nuclear. *IAEA Bulletin*. 2021, vol. 62-1, pp. 28-29. Available at: <https://www.iaea.org/ru/bulletin/62-1> (accessed May 21, 2023).
26. Muellner N., Arnold N., Gufler K., Kromp W., Renneberg W., Liebert W. Nuclear energy – The solution to climate change? *Energy Policy*, 2021, Vol. 155, 112363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112363>
27. Ekin A.A., Vasilyev A.V., Vasyanov M.E., Nazarov E.I., Pyshkina M.D. Experience in Realization Independent Public Control of Radiation-Hazardous facilities. *Research Trajectory Human, Nature, Technology*. 2023, iss. 1(5), pp. 87-103. DOI: 10.56564/27825264_2023_1_87 (in Russian).
28. Kapitsa S.P. The model of the growth of the earth's population and the foreseeable future of civilization. Available at: http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/kapitsa_teorii.htm (accessed May 11, 2023) (In Russian).
29. Pershukov V., Artisyuk V., Kashirsky A. Paving the Way to Green Status for Nuclear Power. *Sustainability*. 2022, 14, 9339. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159339>
30. Poplavskii V.M., Tsibulya A.M., Khomyakov Y.S., Matveev V.I., Eliseev V.A., Tsikunov A.G., Vasil'ev B.A., Belov S.B., Farakshin M.R. Core and Fuel Cycle for an Advanced Sodium-Cooled Fast Reactor. *Atomic Energy*. 2010, vol. 108, iss. 4, pp. 260-266. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-010-9287-y>
31. Gorin N.V., Yekidin A.A., Golovikhina O.S. Nuclear power in Russia's national projects. *Nuclear Energy and Technology*. 2021, no. 7(3), pp. 181–186. DOI: <https://doi.org/10.3897/nucet.7.72393>

32. Meadows D., Meadows D., Randers J. Berens B. III. *Limits to Growth*. Moscow. MSU, 1991.

33. Meadows D., Randers J., Meadows D. *Limits to Growth. The 30-Year Update*. Moscow. Akademkniga Publ., 2007.

Authors

Nikolay V. Gorin, Leading Researcher, Cand. Sci. (Phys. & Math.),

E-mail: n.gorin@vniitf.ru

Vladimir P. Kuchinov, Associate Professor,

E-mail: vkuchinov@bk.ru

Aleksey A. Ekinin, Leading Researcher, Cand. Sci. (Phys. & Math.),

E-mail: ekinin@ecko.uran.ru

Andrey V. Moiseev, Research Supervisor for the BREST-OD-300 Project, Cand. Sci. (Phys. & Math.),

E-mail: a.moiseev@nikiet.ru

Viktor M. Dekusar, Leading Researcher, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: decouss @ippe.ru

Vladimir V. Shidlovsky, Head of Division, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: shvv@proriv2020.ru