

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В АРКТИКЕ

А. А. Саркисов, Д. О. Смоленцев, С. В. Антипов,
В. П. Биладенко, М. Н. Кобринский, П. А. Шведов
ФГБУН Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
(Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 14 июля 2022 г.

Транспортная доступность Северного морского пути и соответствие энергетической инфраструктуры темпам освоения Арктической зоны Российской Федерации неразрывно связаны с применением атомных энергетических технологий. На протяжении последнего десятилетия последовательное развитие атомного ледокольного флота и создание атомных станций малой мощности (АСММ) являются неотъемлемыми мероприятиями государственных программ социально-экономического развития Арктики. Рассмотрены экономические показатели перспективных проектов АСММ. В условиях неопределенности макроэкономических параметров выбран подход к оценке экономической эффективности. Проведены расчет и сравнительный анализ доходности инвестиций типовых проектов.

Ключевые слова: *изолированные энергосистемы, экономическая эффективность, доходность инвестиций, атомные станции малой мощности, атомный ледокольный флот, плавучие энергоблоки.*

Введение

Постоянно возрастающее значение Арктики в современном мире обусловлено уникальной совокупностью географических и экономических факторов, а также возможностью расширить геополитическое влияние ряда стран в регионе, который благодаря глобальным изменениям климата становится все более пригодным для освоения. Прежде всего, в Арктической зоне находятся крупнейшие разведанные и потенциальные месторождения минерального сырья. Через территорию Арктики проходят оптимальные по времени и затратам морские транспортные коридоры между Европой, Азией и Северной Америкой. Для России Арктическая зона имеет особое значение в обеспечении национальной безопасности, на нее приходится более 30% государственной границы, защищенной от возможного санкционного давления с точки зрения свободы ее пересечения. Несмотря на экономический по-

тенциал и стратегическую значимость, Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) к началу XX в. характеризовалась рядом серьезных демографических проблем, в результате чего общая численность населения за последние 28 лет снизилась почти на 1,9 млн человек, что не только сдерживает развитие промышленности, но и представляет собой угрозу сохранению государственного суверенитета России над арктическими регионами [1]. Главными препятствиями для развития этих территорий остаются сложная транспортная доступность и неблагоприятные природно-климатические условия. Успешное освоение АЗРФ, интенсификация добычи и транспортировки углеводородов, поддержание и развитие круглогодичного судоходства по Северному морскому пути (СМП) требуют применения современных технологий, техники и использования прогрессивных подходов к исследованию и решению возникающих проблем.

Развитие арктических территорий установлено в качестве одной из стратегических государственных целей и является крупнейшим по территории

альному признаку и отраслевой вовлеченности проектом. В соответствии с указом Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», «Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года», «Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» созданы федеральные, региональные и отраслевые структуры управления программами и проектами социально-экономического развития АЗРФ.

Катализаторами социально-экономического развития арктических территорий, безусловно, являются освоение месторождений минерально-сырьевых ресурсов и расширение потока грузоперевозок через акватории СМП. В последнем направлении прогнозировался рост грузопотока с 35 млн т в 2021 г. до 80 млн т уже в 2024 г. и до 120 млн т в год к 2035 г.¹ При этом привлекательность интенсивного использования СМП как оптимальной транспортной коммуникации для внутренних и международных перевозок еще сильнее возрастает в условиях изменения климата Арктики (повышение температуры, уменьшение площади и толщины льдов). Текущее и перспективное развитие грузоперевозок в акватории СМП в значительной степени зависит от состояния и опережающего создания атомного ледокольного флота [2]. В настоящее время введены в строй два универсальных атомных ледокола (УАЛ) проекта 22220, ведется строительство еще четырех (из которых ввод в эксплуатацию УАЛ «Урал» планируется в 2022 г.), строится головной атомный ледокол (АЛ) нового поколения проекта 10510 «Лидер», в дальнейшем планируется строительство еще двух серийных «Лидеров», также рассматривается возможность создания атомного контейнеровозного флота ледового класса.

Относительно потенциала развития добывающей промышленности АЗРФ достаточно упомянуть, что российский сектор занимает лидирующие позиции по добыче и запасам минерального сырья в Арктике: здесь сосредоточено более 70% национальных запасов газа, около 10% мировых запасов никеля, 10% титана, добывается 40% мирового объема палладия, 14% платины, 10% алмазов [2; 3]. Эксперты выделяют три опорные зоны перспективного размещения предприятий по освоению месторождений минерально-сырьевых ресурсов: Таймырскую (месторождения редкоземельных металлов, коксующихся углей, нефтегазовые месторождения), Чукотскую (месторождения рудного золота, меди, коксующегося угля, олово-вольфрамовые месторождения), Северо-Якутскую (месторождения россыпного олова, редкоземельных металлов, алмазов, рудного зо-

лота). Новые проекты восточной Арктической зоны России требуют соответствующего обеспечения энергетическими ресурсами. Их суммарные электрические нагрузки оцениваются примерно в 800 МВт к 2030 г. [4].

Одним из приоритетных вариантов обеспечения энергией промышленных потребителей и транспортных артерий АЗРФ является расширение использования атомной энергетики с опорой на успешный опыт эксплуатации ядерных энергетических установок (ЯЭУ) в регионе. ЯЭУ используются в Арктике с середины прошлого века в составе атомных подводных лодок (АПЛ) и атомных ледоколов, а также как источники энергии для потребностей населения и промышленности (Кольская и Билибинская АЭС).

В настоящее время в мире разрабатывается уже более 70 различных типов атомных станций малой мощности (АСММ) [5], из которых порядка 20% — отечественные проекты, в основном базирующиеся на технологиях судовых ЯЭУ (от уже введенной в эксплуатацию плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) «Академик Ломоносов» до капсульных АСММ подводного размещения). Основными принципами при создании новых поколений АСММ являются модульность и транспортабельность. Теоретические преимущества модульных АСММ для обеспечения энергетической безопасности АЗРФ, базирующиеся на принципах максимальной автономности, мобильности, централизации обслуживания и обращения с ядерным топливом, хорошо известны и описаны в литературе [6]. Одновременно открытыми остаются вопросы экономической обоснованности, в том числе в совокупности с экологичностью АСММ.

Экономика и экологичность АСММ

Выполненные оценки экономической эффективности и нормированной стоимости электроэнергии (Levelized Cost of Electricity, LCOE) [7] показали потенциальную возможность для АСММ конкурировать с альтернативными источниками энергии (рис. 1). Оценки основаны на моделировании дисконтированных денежных потоков с учетом инфляции по прогнозу социально-экономического развития Минэкономразвития России и с учетом подходов МАГАТЭ к расчету стоимости жизненного цикла инновационных проектов:

$$K_{АСММ} = K_{АЭС} \left(\frac{P_{АСММ}}{P_{АЭС}} \right)^{n-1};$$

$$E_{АСММ} = E_{АЭС} \frac{K_{АСММ} / P_{АСММ}}{K_{АЭС} / P_{АЭС}} = \left(\frac{P_{АСММ}}{P_{АЭС}} \right)^{n-2},$$

где K — капиталовложения (КВ) в строительство станции; P — установленная мощность; n — эмпирический коэффициент, подобранный на основании

¹ Здесь и далее оценки развития отдельных направлений представлены без учета возможного влияния изменения макроэкономических показателей в I–III кварталах 2022 г.

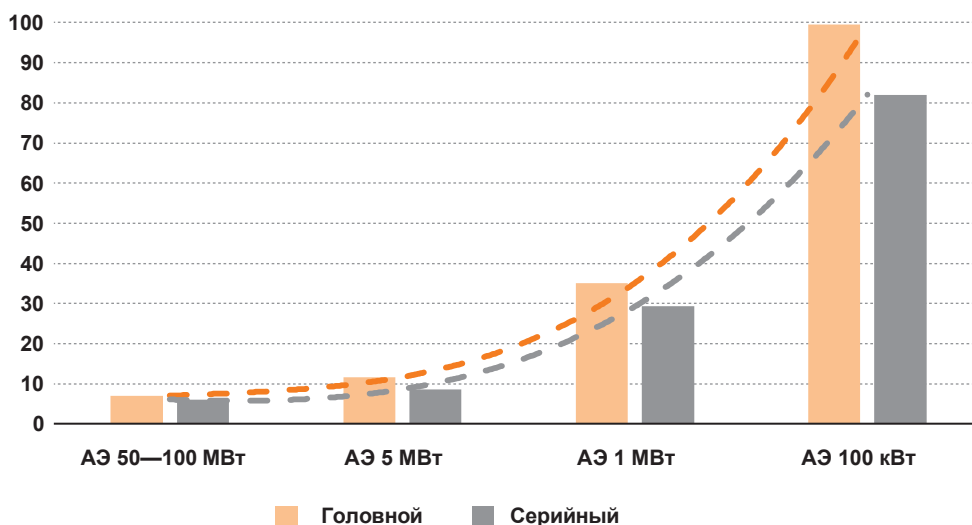


Рис. 1. Оценка LCOE атомных энергоисточников малой мощности в Арктике, приведенная к ценам 2021 г., руб./кВт·ч
 Fig. 1. LCOE estimate of low-power nuclear power plants in the Arctic, adjusted to 2021 prices, RUB/kWh

известных данных о КВ АЭС большой мощности и АСММ с водо-водяными реакторами (по оценкам МАГАТЭ $n \in [0,4; 0,7]$, для расчета принято $n \approx 0,6$); E — удельные эксплуатационные затраты.

Для целей оценки экономической эффективности эксплуатационные затраты АСММ (сырье и материалы, работы производственного характера, ремонт) определяются пропорционально КВ.

Из-за роста удельных капитальных и эксплуатационных затрат при снижении установленной мощности растет и LCOE. Несмотря на существенное (больше порядка) различие LCOE атомных энергоисточников классов от 100 кВт до 100 МВт, каждый из них имеет свою рыночную нишу, которая определяется сравнительной эффективностью с дизельными электростанциями для АСММ класса 100 кВт или ТЭС на доступном углеводородном топливе (уголь, газ, СПГ) для АСММ класса 100 МВт.

Помимо эксплуатируемой головной ПАТЭС «Академик Ломоносов» (установленная мощность 2×35 МВт) к 2028 г. планируется сооружение стационарной АСММ (55 МВт) в Усть-Янском улусе Якутии на базе усовершенствованной ледокольной реакторной установки (РУ) РИТМ-200Н. Также в качестве альтернативного варианта для головной наземной АСММ рассматривалась площадка Суроямского титаномагнетитового месторождения на севере Челябинской области. Но в настоящее время основное применение АСММ предусматривается в районе западного берега Чаунской губы, где для электроснабжения Баимского горно-обогатительного комбината с 2027 по 2031 гг. будут введены четыре модернизированных плавучих энергоблока (МПЭБ) [8]. На каждом МПЭБ будут установлены две РУ РИТМ-200М совокупной электрической мощностью 106 МВт. По сравнению с ПАТЭС параметры эскизного проекта МПЭБ предусматривают увеличе-

ние ресурса активной зоны (а. з.) с 2,1 до 11 ТВт·ч, что позволит отказаться от хранения и перегрузки комплектов а. з. на борту и с учетом отказа от размещения персонала на судне сократит водоизмещение с 21 до 16 тыс. т [9].

В рамках федерального проекта «Проектирование и строительство референтных энергоблоков атомных электростанций, в том числе атомных станций малой мощности» [10] до 2024 г. будут осуществлены проектные изыскания, направленные на старт сооружения пилотной АСММ на базе РУ «Шельф-М» и атомной термоэлектрической станции теплоснабжения «Елена-АМ».

В табл. 1 показаны перспективы использования атомных энергетических технологий в арктическом регионе по состоянию на середину 2022 г. Представлено сравнение количества РУ с аналогичными прогнозами 2018 и 2020 гг. Видно, что масштаб использования атомных энергетических технологий в АЗРФ пересматривается в сторону увеличения. Свидетельства этого — не только программные документы, но и фактические шаги в проектировании и изготовлении РУ, строительстве и вводе в эксплуатацию АЛ. Несмотря на разнообразие типов и модификаций планируемых к использованию РУ, более 80% из них относятся к проектам РИТМ и имеют максимальную унификацию как по компоновке, так и по перегрузочному комплексу [9].

При отсутствии проектно-сметной документации и референтной информации о затратах жизненного цикла риск инвестирования в строительство АСММ для потенциального потребителя является неприемлемым (оставляем за рамками необходимость обязательного лицензирования деятельности в области использования атомной энергии). Одним из способов устранения этого риска являются ВОО (Build — Own — Operate) контракты, когда для за-

Проблемы Северного морского пути



Рис. 2. Перспектива использования РУ в Арктике в 2030-е годы
Fig. 2. The prospect of using nuclear reactor plants in the Arctic in the 2030s

Таблица 1. Реакторные установки, эксплуатируемые (планируемые к эксплуатации) в Арктике

Тип РУ	РУ в эксплуатации			Мощность тепловая, МВт	Объект
	2022 г. (по состоянию на июнь)	Прогноз на 2030 г.*			
		Консервативный сценарий	Оптимистичный сценарий		
ОК-900А	4	2	2	171	АЛ «Ямал» и «50 лет Победы»
КЛТ-40М	2	0	0	171	АЛ «Вайгач» и «Таймыр»
КЛТ-40	1	0	0	135	Лихтеровоз «Севморпуть»
РИТМ-200	4	10	14	175	Головной и 4 серийных УАЛ проекта 22220
РИТМ-200Н	0	1	1	190	АСММ
РИТМ-200М	0	4	8	175	4 МПЭБ
РИТМ-200Б	0	0	1	209	АЛ офшорного типа
РИТМ-400	0	2	6 + 2	315	Головной и 2 серийных АЛ проекта 10510 «Лидер» + атомные контейнеровозы арктического класса

Окончание табл. 1

Тип РУ	РУ в эксплуатации			Мощность тепловая, МВт	Объект
	2022 г. (по состоянию на июнь)	Прогноз на 2030 г.*			
		Консервативный сценарий	Оптимистичный сценарий		
КЛТ-40С	2	2	2	150	ПАТЭС
АБВ-6М	0	0	2	38	АСММ
Шельф				28	
Итого РУ в эксплуатации:	13	21	38		
оценка 2020 г. [11]	9 **	12	29		
оценка 2018 г. [7]	9 **	—	27		

* Оценка авторов.

** На год оценки.

интересованного потребителя электроэнергии проект АСММ с экономической точки зрения является по сути «черным ящиком» со взаимным обязательством покупать/продавать электроэнергию по установленной цене на протяжении длительного периода, определенного жизненным циклом АСММ или бизнеса потребителя. Например, для электроснабжения Баимского горно-обогатительного комбината Госкорпорация «Росатом» прорабатывает соглашение о поставке электроэнергии с МПЭБ по фиксированной в ценах 2020 г. базовой ставке 6 руб./кВт·ч в течение 40 лет, что соответствует представленной выше оценке стоимости электроэнергии для серийных АСММ класса 50—100 МВт.

При оценке экономической эффективности необходимо помнить, что абсолютные показатели, такие как чистый дисконтированный доход (Net Present Value, NPV), LCOE, срок окупаемости, зависят от выбранной ставки дисконтирования. Существует несколько общепринятых способов определения ставки дисконтирования для целей инвестиционного анализа, но во всех способах присутствует связь с макроэкономическими параметрами (например, через показатели инфляции, средневзвешенную стоимость капитала инвестора — Weighted Average Cost of Capital, WACC). В условиях высокой экономической неопределенности оценку экономической эффективности проектов сооружения АСММ предлагается рассмотреть по показателю внутренней нормы доходности (Internal Rate of Return, IRR), т. е. с точки зрения потенциальной доходности для инвестора. Исходные данные и методологические подходы к оценке доходности проектов АСММ представлены в табл. 2.

Полученный диапазон доходности проектов АСММ (IRR = 6—7%) имеет значения существенно ниже рыночных. Более того, он ниже основного индикатора государственной денежно-кредитной политики — ключевой ставки Банка России, которая с декабря 2021 г. по июль 2022 г. имеет значение выше 8%, что автоматически делает сравниваемые проекты АСММ некупаемыми. Очевидно, что подобные проекты не реализуются в стандартных рыночных условиях, используются схемы концессий, государственного-частного партнерства в сокупности с инструментами поддержки. В качестве сравнения с инструментами господдержки в электроэнергетике рассмотрим доходность проектов, реализуемых через механизм договоров о предоставлении мощности (ДПМ).

Базовый уровень нормы доходности инвестированного капитала при модернизации генерирующих объектов тепловых электростанций составляет 14%, срок возврата инвестиций через тариф на мощность — 16 лет (аналогичная базовая доходность была для проектов ДПМ ТЭС² при сроке возврата инвестиций 10—15 лет). Для долгосрочного конкурентного отбора мощности новых генерирующих объектов (ДПМ НГО) с целью электроснабжения Восточного полигона РЖД и прочих промышленных потребителей базовая доходность по условиям конкурса³ составляла 12,5% при сроке возврата инвестиций 20 лет. Для ДПМ АЭС базовая доходность — 10,5% на 20 лет, а для ДПМ ВИЭ (возобновляемых источников энергии) — 10—12% на 15 лет.

² Первая программа договоров о предоставлении мощности, запущенная в 2010 г.

³ Намеченный на март 2022 г. конкурс не состоялся.

Таблица 2. Техничко-экономические параметры АСММ

Параметр	Стационарная АСММ	МПЭБ
РУ/количество	РИТМ-200Н/1	2×РИТМ-200М/2
Установленная мощность (электрическая), МВт	55	106
Стоимость строительства, млрд руб. (без НДС, в прогнозных ценах)	62	83
Коэффициент использования установленной мощности, %	80	
Срок эксплуатации, лет	60	40
Длительность топливной кампании, лет	5—7	8—10
Предположения и допущения	<ul style="list-style-type: none"> Расчет выполнен в прогнозных ценах, в качестве базовых значений используются референтные данные 2020 г. Горизонт расчета равен сроку эксплуатации. Отчисления в специальные резервы и плата инфраструктурным организациям оптового рынка электрической энергии и мощностей не учитываются. Расчет выручки по одноставочному тарифу с базовым значением 6 руб./кВт·ч в ценах 2020 г. Рост удельных эксплуатационных затрат принят пропорционально росту удельных капитальных затрат 	
IRR, %	6—7	

Наименьшей гарантированной базовой доходностью обладают проекты АЭС, при этом у них наибольший срок возврата инвестиций (рис. 3). Рассчитанная доходность проектов АСММ (6—7%) также уступает аналогичному показателю для проектов ДПМ. Таким образом, при прочих равных условиях инвестору в электроэнергетической отрасли выгоднее направлять свободный инвестиционный ресурс на проекты с государственной гарантией возврата

инвестиций, чем самостоятельно реализовывать проекты АСММ.

В то же время проекты АСММ могут принести ненулевую доходность (6—7%), а в условиях стабилизации макроэкономических параметров и гарантировать экономическую эффективность проектов (NPV > 0).

Реализация проектов АСММ и развитие системы жизненного цикла малой атомной энергетики без

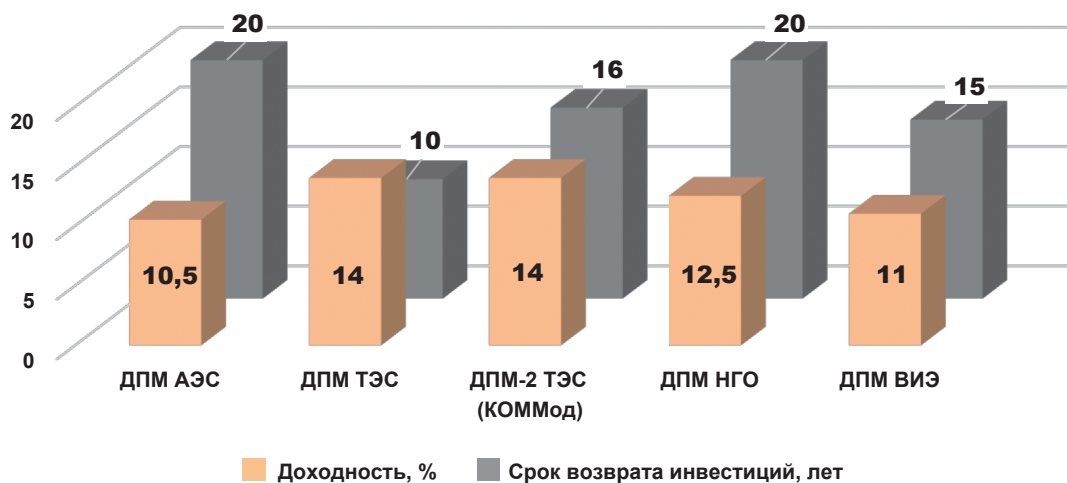


Рис. 3. Базовая доходность проектов строительства и модернизации генерирующих объектов с государственной поддержкой
Fig. 3. Basic profitability of projects for the construction and modernization of generating facilities with state support

преувеличения будут сопоставимы со становлением новой подотрасли промышленности. С точки зрения «полезности» нового направления для экономики страны целесообразно рассмотреть мультипликативный эффект инвестиций. Общий объем инвестиций в строительство АЛ проектов «Арктика» и «Лидер» до 2030 г. оценивается до 500 млрд руб., стационарной АСММ и МПЭБ — 400 млрд руб. Мультипликатор инвестиций для проектов АСММ предполагается на уровне 2,5, таким образом, эффект для экономики превысит 2 трлн руб. Для сравнения: мультипликатор локализованных инвестиций ВИЭ для ВВП страны оценивается значением 2,2 [12].

Еще одна особенность АСММ — почти нулевое влияние на окружающую среду в процессе эксплуатации по сравнению с углеводородной генерацией — дает дополнительное преимущество данному типу источников энергии в хрупкой экосистеме Севера.

Дополнительный фактор в целесообразность развития системы АСММ в АЗРФ вносит европейская «Зеленая повестка», которая активно развивается с 2019 г. Согласно этой повестке одним из основных законодательных инструментов сокращения выбросов углерода и полного запрета выбросов к 2050 г. является введение международного/трансграничного углеродного налога (сбора). Предполагается, что промышленные производители будут платить за каждую тонну углекислого газа, попавшего в атмосферу в ходе производственного цикла их продукции. В том числе в качестве ответной реакции на подготавливаемое введение трансграничного углеродного регулирования лидеры семи европейских стран во главе с Францией обратились с официальным письмом в Еврокомиссию с призывом включить атомную энергетику в низкоуглеродные технологии, не наносящие значительного ущерба на протяжении всего своего жизненного цикла. Российская Федерация также активно включилась в процесс признания атомной энергетики низкоуглеродной. Дополнительные выбросы парниковых газов, связанные с развитием генерации на углеводородном топливе для покрытия перспективных потребителей восточной части АЗРФ (800 МВт к 2030 г.), оцениваются в 8,6—9,6 млн т CO₂ в год [13; 14]. В текущих тарифах Европейской системы торговли квотами на выбросы парниковых газов (EU ETS) стоимость таких выбросов будет эквивалентна примерно 600—800 млн евро в год [15].

С учетом изолированности энергосистем АЗРФ (как следствие, легкости отслеживания углеродного следа объектов генерации в конечной стоимости потребляемой электроэнергии) при введении трансграничного углеродного налога только АСММ, а также транспортные ЯЭУ могут обеспечить сохранение конкурентоспособности на европейском рынке сбыта (чуть менее половины всего национального экспорта до 2022 г.) продукции минерально-сырьевых проектов АЗРФ за счет минимизации углеродных сборов. При перенаправлении экспорта в страны

Юго-Восточной Азии с учетом обязательств Индии и Китая в рамках климатических соглашений ООН о достижении углеродной нейтральности влияние трансграничного углеродного регулирования также будет сохранять актуальность. Первые сигналы в этом направлении не заставили себя долго ждать. Для энергоснабжения Баимского горно-обогатительного комбината в Чукотском АО в качестве приоритетного варианта стали рассматриваться пять модернизированных плавучих энергоблоков с реакторными установками РИТМ-200 вместо плавучих СПГ-электростанций, несмотря на более длительные сроки реализации и более высокую капиталоемкость атомных проектов.

Выводы

Современный период освоения российской Арктики характеризуется насыщением этого региона многочисленными и разнообразными ЯЭУ — источниками потенциальной опасности распространения радиоактивности при неблагоприятных и аварийных ситуациях. Но осуществление качественного перехода в развитии арктических территорий невозможно без применения атомных энергетических технологий. Очевиден многолетний тренд на интенсификацию применения таких технологий и их унификацию. Эти обстоятельства настоятельно требуют уточнения методов и моделей оценки и расчетов угроз радиационной и экологической безопасности человека и окружающей среды.

Достижение рыночного паритета в экономической эффективности и инвестиционной привлекательности проектов АСММ в настоящее время невозможно без применения мер государственной поддержки. При этом сами по себе проекты АСММ экономически эффективны в условиях стабилизации макроэкономических параметров и имеют положительную доходность, которая будет возрастать по мере перехода к серийному производству и создания централизованной инфраструктуры. Следующим и основным шагом развития системы АСММ должен стать переход к модульному принципу компоновки и сооружению таких энергоисточников.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-19-00615) «Исследование радиоэкологических проблем Арктической зоны Российской Федерации с целью повышения радиационной и экологической безопасности человека и окружающей среды в условиях интенсивного использования морских и береговых ядерных энергетических установок для опережающего развития региона».

Литература

1. Смиреникова Е. В., Воронина Л. В., Уханова А. В. Оценка демографического потенциала арктических регионов Российской Федерации в контексте инновационного развития // Арктика: экология и эконо-

- мика. — 2021. — Т. 11, № 1. — С. 19—29. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-19-29.
2. Кашка М. М., Ирлица Л. А., Ефанская Е. А. и др. Роль атомного ледокольного флота в достижении национальной задачи по увеличению объема грузопотока в акватории Северного морского пути // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, № 1. — С. 101—110. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-101-110.
3. Волков А. В., Галямов А. Л., Лобанов К. В. Минеральное богатство Циркумарктического пояса // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 1 (33). — С. 106—117. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-106-117.
4. Санеев Б. Г., Иванова И. Ю., Корнеев А. Г. Оценка электрических нагрузок потенциальных проектов освоения месторождений минерально-сырьевых ресурсов в восточных регионах Арктической зоны Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 1 (37). — С. 4—14. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-4-14.
5. Technology roadmap for small modular reactor deployment / Intern. Atomic Energy Agency. IAEA nuclear energy series, ISSN 1995–7807; no. NR-T-1.18.
6. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики: Т. 2 / Под ред. акад. РАН А. А. Саркисова. — М.: Академ-Принт, 2015. — 387 с.
7. Саркисов А. А., Антипов С. В., Смоленцев Д. О. и др. Безопасное развитие атомных энергетических технологий в Арктике: перспективы и подходы // Изв. вузов. Ядер. энергетика. — 2018. — № 3. — С. 5—17. — URL: <https://doi.org/10.26583/npe.2018.3.01>.
8. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года. — Утв. распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2017 г. № 1209-р в ред. распоряжения Правительства РФ от 25 ноября 2021 г. № 3320-р.
9. Петрунин В. В. Реакторные установки для атомных станций малой мощности // Вестн. Рос. акад. наук. — 2021. — Т. 91, № 6. — С. 528—540. — DOI: 10.31857/S0869587321050182.
10. Паспорт федерального проекта Проектирование и строительство референтных энергоблоков атомных электростанций, в том числе атомных станций малой мощности. — URL: <https://programs.gov.ru/Portal/files/download?id=9cd737a1-3abe-4dcc-8aeb-57abf7eb35b7>.
11. Саркисов А. А., Антипов С. В., Смоленцев Д. О. и др. Малая атомная энергетика в контексте трансформации электроэнергетических систем // Изв. вузов. Ядер. энергетика. — 2020. — № 4. — С. 5—14. — URL: <https://doi.org/10.26583/npe.2020.4.01>.
12. Анализ системных эффектов от реализации программы поддержки возобновляемой энергетики ДПМ ВИЭ 1.0, май 2020, ООО «ВЫГОН Консалтинг». — URL: https://www.bigpowernews.ru/photos/0/0_YQiADiOUpX05u4IkIWNxIw5L112pQ7vP.PDF.
13. Санеев Б. Г., Майсюк Е. П., Иванова И. Ю. Оценка экологических последствий от объектов энергетики при реализации перспективных проектов освоения месторождений арктических территорий восточных регионов России // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, № 4. — С. 466—480. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-4-466-480.
14. Методические указания и руководство по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации. — Утв. приказом Минприроды России от 30 июня 2015 г. № 300.
15. EU Carbon Permits. — URL: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>.

Информация об авторах

Саркисов Ашот Аракелович, доктор технических наук, академик РАН, советник РАН, ИБРАЭ РАН (115191, Россия, Москва, Большая Тульская ул., д. 52).

Смоленцев Дмитрий Олегович, научный сотрудник, ИБРАЭ РАН (115191, Россия, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: dsmol@ibrae.ac.ru.

Антипов Сергей Викторович, доктор технических наук, заместитель директора, ИБРАЭ РАН (115191, Россия, Москва, Большая Тульская ул., д. 52).

Билашенко Вячеслав Петрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ИБРАЭ РАН (115191, Россия, Москва, Большая Тульская ул., д. 52).

Кобринский Михаил Натанович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, ИБРАЭ РАН (115191, Россия, Москва, Большая Тульская ул., д. 52).

Шведов Павел Алексеевич, заместитель заведующего отделом, ИБРАЭ РАН (115191, Россия, Москва, Большая Тульская ул., д. 52).

Библиографическое описание данной статьи

Саркисов А. А., Смоленцев Д. О., Антипов С. В. и др. Перспективы использования атомных энергетических технологий в Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2020. — Т. 12, № 3. — С. 349—358. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358.

PROSPECTS OF USING NUCLEAR POWER TECHNOLOGIES IN THE ARCTIC

Sarkisov, A. A., Smolentsev, D. O., Antipov, S. V., Bilashenko, V. P., Kobrinsky, M. N., Shvedov, P. A.
Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received on July 14, 2022

Abstract

The transport accessibility of the Northern Sea Route and the compliance of the energy infrastructure with the Russian Arctic pace development are inextricably linked with the use of nuclear power technologies. Over the past decade, the consistent development of the nuclear icebreaker fleet and the creation of low-power nuclear power plants (LNPPs) have been integral measures of state programs for the socio-economic development of the Arctic. The authors consider the economic indicators of promising LNPPs projects. In the conditions of uncertainty of macroeconomic parameters, they choose an approach to assessing economic efficiency and carry out the calculation and comparative analysis of the return on investment of standard projects.

Keywords: *isolated energy systems, economic efficiency, return on investment, low-power nuclear power plants, nuclear icebreaker fleet, floating power plants.*

The Russian Science Foundation grant supported the study (project No. 20-19-00615 “Research into radioecological problems of the Russian Arctic to enhance radiation and ecological safety of humans and the environment in the conditions of intensive use of offshore and coastal nuclear power plants for the advanced development of the region”).

References

1. Smirennikova E. V., Voronina L. V., Ukhanova A. V. Assessment of the demographic potential of the Arctic regions of the Russian Federation in the context of innovative development. *Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy]*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 19—29. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-19-29. (In Russian).
2. Kashka M. M., Irlitsa L. A., Efanskaya E. A., Matviishina K. A., Golovinsky S. A. The role of the nuclear icebreaker fleet in achieving the national goal of increasing in freight traffic in the water area of the Northern Sea Route. *Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy]*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 101—110. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-101-110. (In Russian).
3. Volkov A. V., Galyamov A. L., Lobanov K. V. The mineral wealth of the Circum-Arctic Belt. *Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy]*, 2019, no. 1 (33), pp. 106—117. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-106-117. (In Russian).
4. Saneev B. G., Ivanova I. Yu., Korneev A. G. Assessment of electrical loads of potential projects for the development of mineral resources in the eastern regions of the Arctic zone of the Russian Federation. *Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy]*, 2020, no. 1 (37), pp. 4—14. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-4-14. (In Russian).
5. Technology roadmap for small modular reactor deployment. Intern. Atomic Energy Agency. IAEA nuclear energy series, ISSN 1995–7807; no. NR-T-1.18.
6. Low-power Nuclear Power Plants — a New Line in the Development of Power Systems. Vol. 2. Ed. by Acad. A. Sarkisov. Moscow, Academ-Print, 2015, 387 p. Available at: http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1930389. (In Russian).
7. Sarkisov A. A., Antipov S. V., Smolentsev D. O., Bilashenko V. P., Kobrinsky M. N., Sotnikov V. A., Shvedov P. A. Safe Development of Nuclear Power Technologies in the Arctic: Prospects and Approaches. *Izv. vuzov. Yadern. Energetika*, 2018, no. 3, pp. 5—17. Available at: <https://doi.org/10.26583/npe.2018.3.01>. (In Russian).
8. General Layout of Electric Power Plants Until 2035. Approved by the Federal Government on November 25, 2021 no. 3320-r. (In Russian).
9. Petrunin V. V. Reactor Units for Small Nuclear Power Plants. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2021, vol. 91, no. 3, pp. 335—346. DOI: 10.1134/S1019331621030126.
10. Engineering and Construction of Reference Nuclear Power Plants Units, Including Low-Power Nuclear Power Plants, Federal Project Passport. Available at: <https://programs.gov.ru/Portal/files/download?id=9cd737a1-3abe-4dcc-8aeb-57abf7eb35b7>. (In Russian).
11. Sarkisov A. A., Antipov S. V., Smolentsev D. O., Bilashenko V. P., Kobrinsky M. N., Sotnikov V. A., Shvedov P. A. Low-Power Nuclear Power Plants in the Context of Electric Power Systems Transformation. *Izv. vuzov. Yadern. Energetika*, 2020, no. 4, pp. 5—14. Available at: <https://doi.org/10.26583/npe.2018.3.01>. (In Russian).
12. Analysis of Systemic Effects from the Implementation of the Renewable Energy Support Program, May 2020, VYGON Consulting. Available at: https://www.bigpowernews.ru/photos/0/0_YQIADI0UpX05u4IkI-WNxlw5LI12pQ7vP.PDF. (In Russian).

13. *Saneev B. G., Maysyuk E. P., Ivanova I. Yu.* Assessment of energy-related environmental impacts during the implementation of promising projects for the development of deposits in the Arctic territories of the Russian eastern regions. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2021, vol. 11, no. 4, pp. 466—480. DOI: 10.26583/npe.2020.4.01. (In Russian).

14. Guidelines and guidance on the quantitative determination of greenhouse gas emissions by organizations engaged in economic and other activities in the Russian Federation. Approved by the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation on June 30, 2015 no. 300. (In Russian).

15. EU Carbon Permits. Available at: <https://trading-economics.com/commodity/carbon>.

Information about the authors

Sarkisov, Ashot Arakelovich, Doctor of Engineering Science, Academician, Adviser of the Russian Academy of Sciences, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya Str., Moscow, Russia, 115191).

Smolentsev, Dmitry Olegovich, Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya Str., Moscow, Russia, 115191), e-mail: dsmol@ibrae.ac.ru.

Antipov, Sergey Victorovich, Doctor of Engineering Science, Deputy Director, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya Str., Moscow, Russia, 115191).

Bilashenko, Vyacheslav Petrovich, PhD of Engineering Science, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya Str., Moscow, Russia, 115191).

Kobrin sky, Mikhail Natanovich, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya Str., Moscow, Russia, 115191).

Shvedov, Pavel Alekseevich, Department Deputy Head, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya Str., Moscow, Russia, 115191).

Bibliographic description of the article

Sarkisov, A. A., Smolentsev, D. O., Antipov, S. V., Bilashenko, V. P., Kobrin sky, M. N., Shvedov, P. A. Prospects of Using Nuclear Power Technologies in the Arctic. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [The Arctic: Ecology and Economy], 2022, vol. 12, no. 3, pp. 349—358. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358. (In Russian).

© Sarkisov A. A., Smolentsev D. O., Antipov S. V., Bilashenko V. P., Kobrin sky M. N., Shvedov P. A., 2022