Рубрика (присваивается редакцией журнала)

DOI: 10.25283/2223-4594-присваивается редакцией

УДК указать

Заглавие статьи

А. А. Автор1, Б. Б. Автор2, Н. Н. Авторn

1 Место работы Автора1 (Город, страна)

2 Место работы Автора2 (Город, страна)

n Место работы АвтораN (Город, страна)

**Статья поступила в редакцию** ?? ??????? 20?? г.

**Для цитирования.** Автор1 А. А., Автор2 Б. Б., … Авторn Н. Н. Название статьи // Арктика: экология и экономика. — 20??. — Т. ??, № ?. — С. ?—?. — DOI: 10.25283/2223-4594-?-?-?-?.

© Автор1 А. А., Автор2 Б. Б., … Авторn Н. Н., 20??

*Краткая аннотация статьи (приблизительно 600 символов с учетом пробелов и знаков препинания). В аннотации рекомендуется отразить основные цели и результаты выполненных исследований.*

**Ключевые слова:** *слово1, слово2, ключевое слово3, словоNN.*

*Настоятельно рекомендуем в первую очередь использовать ключевые слова/фразы, которые уже имеются в разделе ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ на сайте журнала (*[*http://www.arctica-ac.ru/tags/*](http://www.arctica-ac.ru/tags/)*), а если требуемого ключевого слова/фразы там нет, тогда использовать свои.*

Текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи.

Таблица 1. Заголовок таблицы1

**Table 1. Title of Table 1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| содержание таблицы | содержание таблицы | содержание таблицы |
| содержание таблицы | содержание таблицы | содержание таблицы |
| содержание таблицы | содержание таблицы | содержание таблицы |
| содержание таблицы | содержание таблицы | содержание таблицы |
| содержание таблицы | содержание таблицы | содержание таблицы |

Текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи.


Рис. 1. Подрисуночная подпись

Fig. 1. Image-related text

Текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи.

**Финансирование.** Сведения об источниках финансирования научных исследований, результаты которых представлены в статье.

**Благодарность.** Признательность авторов лицам и/или организациям, содействовавшим выполнению работы.

Литература/References

1. *Гайкович А. И.* Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов: В 2 т. — Т. 1: Описание системы «Корабль». — СПб.: НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. — 819 с.

*Gaikovich A. I.* Design theory for water displacing ships and vessels. Vol. 1: “Ship” System Description. St. Petersburg, NITs MORINTEKh, 2014, 819 p. (In Russian).

2. *Holtrop J., Mennen G. G. J.* An Approximate Power Prediction Method // Intern. Shipbuilding Progress. — 1982. — Vol. 29 (335). — P. 166—170.

3. *Таровик О. В., Топаж А. Г., Крестьянцев А. Б. и др.* Комплексная имитационная модель морской транспортно-технологической системы платформы «Приразломная» // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 3 (27). — С. 86—103. — DOI: 10.25283/2223-4594-2017-3-86-103.

*Tarovik O. V., Topazh A. G., Krest'yantsev A. B. et al.* Comprehensive Simulation Model of Marine Transport and Support System for “Prirazlomnaya” Platform. Arctic: Ecology and Economy, 2017, no. 3 (27), pp. 86—103. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-3-86-103. (In Russian).

Информация об авторах

*Автор1 Автор Авторович*, ученая степень, научное звание, должность, Место работы автора1 (почтовый адрес места работы автора), e-mail: author1@gmail.com.

*Автор2 (аналогичным образом указать сведения обо всех остальных соавторах статьи).*

Title of the Article

Author, A. A.1, Author, B. B.2, Author, N. N.n

1 Affiliation1 (Address of Affiliation1)

2 Affiliation2 (Address of Affiliation2)

n AffiliationN (Address of AffiliationN)

**The article was received on** ??????? ??, 20??

**For citing.** Author1 A. A., Author2 B. B. … Authorn N. N. Title of the Article. Arctic: Ecology and Economy, 20??, vol. ?, no. ?, pp. ?—?. DOI: 10.25283/2223-4594-20??-?-?-?. (In Russian).

Abstract

Исходный текст (на русском языке) англоязычной аннотации.

*Text of the annotation (на английском языке, максимум 1500 символов).*

**Keywords:** *keyword1, keyword2, … keywordn.*

**Funding.** Сведения об источниках финансирования научных исследований, результаты которых представлены в статье (на английском языке).

**Acknowledgements.** Благодарности лицам и/или организациям, внесшим существенный вклад в работу (на английском языке).

Information about the authors

*Author1 Author Authorovich*, science degree, job title, Affiliation (mail Address of the Affiliation1), e-mail: author1@gmail.com.

*Author2 (аналогичным образом указать сведения обо всех остальных соавторах статьи на английском языке).*

© Author1 A. A., Author2 B. B., … Authorn N. N. 20??

**ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ**

**Проблемы Северного морского пути**

DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358

УДК 338.45:621.039:332.1

**Перспективы использования атомных энергетических технологий в Арктике**

А. А. Саркисов, Д. О. Смоленцев, С. В. Антипов, В. П. Билашенко, М. Н. Кобринский, П. А. Шведов

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 14 июля 2022 г.

**Для цитирования** *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.

© Саркисов А. А., Смоленцев Д. О., Антипов С. В., Билашенко В. П., Кобринский М. Н., Шведов П. А., 2022

*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. Также 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 потенциал 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 угрозу сохранению государственного суверенитета арктических регионов [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.

**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:





где *К* — капиталовложения (КВ) в строительство станции; *P* — установленная мощность; *n* — эмпирический коэффициент, подобранный на основании известных данных о КВ АЭС большой мощности и АСММ с водо-водяными реакторами (по оценкам МАГАТЭ  для расчета принято *n* ≈ 0,6); *E* — удельные эксплуатационные затраты.

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

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

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].

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

**Table 1 Reactor installations operated (planned for operation) in the Arctic**

| 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 |
| 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.

Обсуждение результатов

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 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, 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 положительною 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.

**Финансирование**. 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/References**

1. *Смиренникова Е. В., Воронина Л. В., Уханова А. В.* Оценка демографического потенциала арктических регионов Российской Федерации в контексте инновационного развития // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, № 1. — С. 19—29. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-19-29.

*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. *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.

*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 fright 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. *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.

*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), рр. 106—117. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-106-117. (In Russian).

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.

*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. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики: Т. 2 / Под ред. акад. РАН А. А. Саркисова. — М.: Академ-Принт, 2015. — 387 с.

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. *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.

*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. Yader. Energetika, 2018, no. 3, pp. 5—17; Available at: https://doi.org/10.26583/npe.2018.3.01. (In Russian).

**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, заместитель заведующего отделом, 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).

**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**

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

**Abstract**

Транспортная доступность Северного морского пути и соответствие энергетической инфраструктуры темпам развития российской Арктики неразрывно связаны с использованием технологий ядерной энергетики. На протяжении последнего десятилетия последовательное развитие атомного ледокольного флота и создание атомных электростанций малой мощности (ЛАЭС) были неотъемлемыми мерами государственных программ социально-экономического развития Арктики. Авторы рассматривают экономические показатели перспективных проектов ЛАЭС. В условиях неопределенности макроэкономических параметров они выбирают подход к оценке экономической эффективности и проводят расчет и сравнительный анализ окупаемости типовых проектов.

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

**Funding.** The Russian Science Foundation grant supported the study (project No. 20-19-00615 “Research into radio-ecological 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”).

**Information about the authors**

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

*Smolentsev Dmitry Olegovich*, Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaya 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 Tulskaya Str., Moscow, Russia, 115191).

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

*Kobrinsky Mikhail Natanovich*, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Department Deputy Head, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaya Str., Moscow, Russia, 115191).

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

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