

## ВЫБОР ПРИОРИТЕТНОГО ВАРИАНТА ПЛАВУЧЕГО ЭНЕРГБЛОКА ПО АНАЛИЗУ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

С. М. Брыкалов, А. С. Балыбердин, Д. А. Нырков, Н. В. Шешина, Е. А. Гущина  
АО «Опытное конструкторское бюро машиностроения имени И. И. Африкантова»  
(«ОКБМ Африкантов») (Нижний Новгород, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 26 июля 2022 г.

*Проекты плавучих энергоблоков, оснащенных инновационными реакторными установками, позиционируют новый класс энергоисточников на базе российских технологий атомного судостроения. Оценка различных вариантов плавучих энергоблоков позволяет определить наиболее приоритетный вариант на основе анализа технико-экономических показателей, в том числе показателя приведенной стоимости электроэнергии LCOE.*

**Ключевые слова:** атомная энергетика, атомные станции малой мощности, плавучий энергоблок, реакторная установка, технико-экономические показатели, LCOE.

### Введение

Освоение Арктики является стратегически важным приоритетом Российской Федерации. Арктический регион имеет огромный потенциал взаимовыгодного международного сотрудничества. Сохранение за Россией контроля над арктической территорией является неотъемлемой частью национальной безопасности страны.

Катализаторами социально-экономического развития арктических территорий, безусловно, являются освоение месторождений минерально-сырьевых ресурсов и увеличение объема грузоперевозок через акватории Северного морского пути. Постоянное судоходство вдоль арктического побережья России экономически целесообразно с точки зрения сокращения времени перевозок между Европой и странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Одним из неотъемлемых условий развития грузоперевозок и обеспечения безопасного судоходства в акватории Северного морского пути является развитие атомного ледокольного флота для надежного функционирования арктической морской транспортной системы [1].

По результатам ГИС-анализа Арктической зоны Россия занимает первое место в мире среди арк-

тических стран — производителей минерального сырья. Доля Арктики в мировой добыче ряда полезных ископаемых составляет: палладия — 40%, платины — 14%, никеля — 12%, кобальта — 6%, меди, свинца, цинка, титана, золота, серебра, фосфатов — от 1% до 4%. Доля российского сектора в арктической добыче кобальта, никеля, палладия, платины превышает 95%, меди — 60%, золота — почти 40%, серебра — почти 30% [2].

Для активного освоения минерально-сырьевых ресурсов Арктики необходимо развивать инфраструктуру морских коммуникаций, включая региональную коммуникационную сеть, способную обеспечить рациональную разработку арктических месторождений полезных ископаемых.

Эксперты выделяют три опорные зоны перспективного размещения предприятий по освоению месторождений минерально-сырьевых ресурсов: Таймырскую (месторождения редкоземельных металлов, коксующихся углей, нефтегазовых месторождений), Чукотскую (месторождения рудного золота, меди, коксующегося угля, олово-вольфрамовые месторождения), Северо-Якутскую (месторождения россыпного олова, редкоземельных металлов, алмазов, рудного золота). Новые проекты на востоке Арктической зоны России требуют соответствующего обеспечения энергетическими ресурсами. Их суммарные электрические нагрузки оцениваются примерно в 800 МВт к 2030 г. [3].

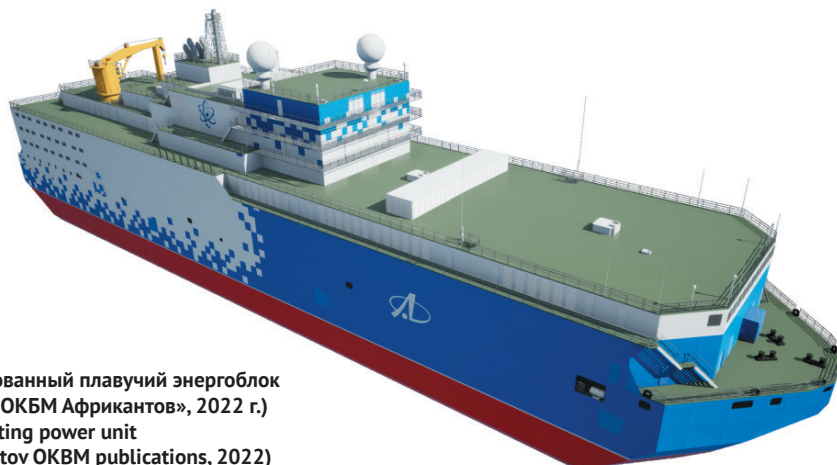


Рис. 1. Модернизированный плавучий энергоблок (из материалов АО «ОКБМ Африкантов», 2022 г.)  
Fig. 1. Upgraded floating power unit (from the JSC Afrikantov OKBM publications, 2022)

Повышение экономического, стратегического и геополитического значения арктического региона является одним из главных вызовов России.

Освоение и устойчивое развитие арктических регионов не представляется возможным без использования атомной энергетики. Российская атомная энергетика — один из важных секторов экономики, и по уровню научно-технических разработок в этой области наша страна никому не уступает на мировой арене.

В настоящее время Госкорпорация «Росатом» в качестве перспективного и долгосрочного стратегического приоритета развития рассматривает формирование продуктового предложения в сегменте атомных электростанций малой и средней мощности. Соответствующая продуктовая стратегия утверждена решением Совета развития и глобализации «Росатома».

Сегмент атомных станций малой мощности (АСММ) — одно из наиболее востребованных и перспективных направлений развития мировой атомной энергетики. АСММ предназначены для удаленных районов с неразвитой сетевой инфраструктурой и имеют ряд неоспоримых преимуществ, связанных непосредственно с энергетической составляющей: обеспечение энергонезависимости труднодоступных территорий, а также экологически чистое производство энергии.

Главным и реализованным проектом из серии мобильных транспортабельных энергоблоков малой мощности является плавучий энергетический блок (ПЭБ) «Академик Ломоносов», предназначенный для работы в составе плавучей атомной теплоэлектростанции.

Эволюционным продолжением работ в части плавучих АСММ является разработка инвестиционного проекта «Энергофлот» на базе оптимизированных плавучих энергоблоков. В 2020 г. разработан эскизный проект оптимизированного плавучего энергоблока (ОПЭБ) с реакторной установкой (РУ) РИТМ-200М в тропическом исполнении, ориентированный на зарубежных заказчиков.

Принято решение о реализации проекта энергообеспечения Баимского золотомедного месторождения на Чукотке, принадлежащего казахстанской компании «KAZ Minerals», с использованием атомных энергоисточников — модернизированных плавучих энергоблоков (МПЭБ).

Реализация проектов линейки АСММ плавучего исполнения позволит обеспечить конкурентоспособность за счет демонстрации референтных решений в сфере инновационных РУ. Тиражирование этой технологии и адаптация ее под требования зарубежных заказчиков позволит России нарастить возможности экспорта подобных проектов на международных энергетических рынках.

Исследования современного состояния и развития атомного судостроения и создания эффективных и безопасных плавучих атомных станций, а также перспективы присутствия атомной энергетики в арктическом регионе представлены в ряде работ [4; 5]. Немаловажное значение имеет выполнение сравнительного анализа экономических показателей перспективных проектов АСММ для Арктики, включая оценку экономической эффективности. Данное исследование нашло отражение в [6].

#### Конструктивные и компоновочные решения вариантов плавучих энергоблоков

Для определения приоритетного варианта выполнено сравнение трех вариантов ПЭБ арктического исполнения с жилым блоком, предназначенных для эксплуатации в северных регионах России:

- МПЭБ с РУ РИТМ-200С (проект 20871);
- ПЭБ с РУ РИТМ-200М (проект, разработанный на базе проекта 20871);
- ПЭБ с РУ РИТМ-400М (проект 20873).

МПЭБ (рис. 1) представляет собой судно стоечного типа с развитой по длине многоярусной надстройкой, имеющее в своем составе две ядерных энергетических установки и две паротурбинные установки (ПТУ). Раскрепление и защита ядерных объектов от внешних воздействий, обеспечение технологического цикла передачи вырабатываемой электроэнергии

в сеть осуществляются береговыми гидротехническими сооружениями (БГТС).

Основное отличие проекта МПЭБ от ПЭБ «Академик Ломоносов» — реакторная установка: модернизированный блок оснастят РУ РИТМ-200С взамен РУ КЛТ-40С. Размеры судовой части останутся прежними.

Благодаря активной зоне с увеличенным энергоресурсом из состава МПЭБ исключен перегрузочный комплекс оборудования по обращению со свежим и отработавшим топливом. Перегрузка активной зоны МПЭБ будет осуществляться на базе специализированного предприятия. Перенос части функционала на берег позволяет снизить численность обслуживающего персонала вдвое и сократить площадь жилого блока. Срок эксплуатации МПЭБ составляет 40 лет с возможностью продления до 60 лет.

Концептуальный проект ПЭБ с двумя модернизированными РУ РИТМ-200М проработан на базе компоновочных решений проекта МПЭБ. Перекомпоновка судовой части повлияла на увеличение водоизмещения ПЭБ. На борту судна не предусмотрено оборудование для обращения с топливом. Существенно увеличены срок службы и межремонтный период основного оборудования.

ПЭБ — несамоходное судно стоечного типа с двойным дном и двойными бортами на всем протяжении корпуса от форпиковой до ахтерпиковой переборки, с развитой по длине судна надстройкой, отсеком РУ в средней части корпуса и блоком помещений, обеспечивающих обитаемость в носовой части корпуса.

ПЭБ является унифицированным источником электрической энергии и предназначен для использования в составе плавучих атомных электростанций (ПАЭС) совместно с БГТС.

В состав ПАЭС (рис. 2) входят:

- ПЭБ с двумя РУ РИТМ-200М и двумя ПТУ;
- гидротехнические сооружения, обеспечивающие установку и раскрепление ПЭБ и передачу вырабатываемой электроэнергии на берег;
- береговые здания и сооружения, предназначенные для обеспечения технологического цикла передачи электроэнергии с ПЭБ в береговые сети, выполняющие вспомогательные функции.

Назначенный срок службы ПЭБ составляет 60 лет с ежегодным профилактическим обслуживанием, заводским (средним) ремонтом, совмещенным с перегрузкой активной зоны, и капитальным ремонтом на специализированных предприятиях. Плановая



Рис. 2. ПАЭС в составе ПЭБ и БГТС (из материалов АО «ОКБМ Африкантов», 2022 г.)  
Fig. 2. Floating NPP as part of FPU and coastal hydraulic structures (from the JSC Afrikantov OKBM publications, 2022)

длительность заводского (среднего) ремонта с учетом транспортировки к специализированному предприятию и обратно не превышает одного года.

Облик ПЭБ с РУ РИТМ-400М схож с проектом, разработанным на базе проекта 20871. Принципиальным отличием ПЭБ с РУ РИТМ-400М от других рассматриваемых вариантов является применение более мощной РУ. Размеры судна и водоизмещение ПЭБ увеличены в связи с конструктивными изменениями судовой части и ключевого оборудования.

#### Основные технические аспекты реакторных установок РИТМ-200С, РИТМ-200М и РИТМ-400М

Разработка РУ РИТМ-200С и РУ РИТМ-200М проводилась на базе РУ РИТМ-200 с максимальной унификацией элементной базы и технических решений.

Ключевыми особенностями РУ РИТМ-200С являются:

- использование парогенерирующего блока интегрального типа и оптимизация компоновки РУ, что позволило минимизировать массогабаритные характеристики РУ в защитной оболочке;
- применение активной зоны кассетного типа с энергоресурсом 8 ТВт·ч, состоящей из 199 тепловыделяющих сборок (ТВС), максимально унифицированных с активных зон для РУ РИТМ-200; повышенный энергоресурс обеспечен за счет увеличения активной части ТВС; топливная композиция выполнена из высокообогащенного интерметаллидного топлива в силуминовой матрице;
- размещение в интегрированном корпусе основного циркуляционного тракта теплоносителя первого контура с активной зоной и кассет парогенератора, позволившее сократить количество патрубков боль-

Таблица 1. Исходные данные для выполнения сравнения

Параметр	МПЭБ с РУ РИТМ-200С	ПЭБ с РУ РИТМ-200М	ПЭБ с РУ РИТМ-400М
Тепловая мощность РУ, МВт	2×198	2×198	2×340
Коэффициент использования установленной мощности	0,9	0,9	0,9
Электрическая мощность (брутто), МВт	116	116	200
Выдаваемая электрическая мощность, МВт	106	106	180
Энергоресурс активной зоны, ТВт·ч	8,0	11,0	13,5
Период между перезарядками, лет	5	7	5
Численность экипажа, человек	64	64	64

шого диаметра в парогенерирующем блоке при сохранении приемлемой ремонтпригодности, а также способствующее уменьшению гидравлического сопротивления в контуре циркуляции и обуславливающее высокий уровень естественной циркуляции в случае возникновения аварийных режимов;

- коллекторная схема с принудительной и естественной циркуляцией теплоносителя в парогенерирующем блоке;
- системы аварийного расхолаживания активного и пассивного принципа действия; расхолаживание РУ в течение времени, необходимого для принятия управляющих решений, обеспечивает пассивный канал.

РУ РИТМ-200М имеет незначительные конструктивные отличия от РУ РИТМ-200С в части корпусных и внутрикорпусных конструкций, обусловленные применением металлокерамической низкообогащенной активной зоны с энергоресурсом 11 ТВт·ч, имеющей в составе 241 ТВС, с увеличенной высотой и описанным диаметром.

Проработки РУ РИТМ-400М проводятся на базе разработанной РУ РИТМ-400 для атомного ледокола «Лидер» и РУ РИТМ-200 для универсального атомного ледокола. В составе РУ применяется высокообогащенная интерметаллидная активная зона кассетного типа с энергоресурсом 13,5 ТВт·ч, состоящая из 313 ТВС с увеличенной высотой активной части. Принципиальным отличием РУ РИТМ-400М от РУ РИТМ-200 является увеличение в 1,9 раза тепловой мощности и паропроизводительности, повлиявшее на изменение массогабаритных характеристик оборудования и РУ в целом.

#### Исходные данные и допущения для сравнения и выбора приоритетного варианта плавучего энергоблока

Рассматриваемые варианты ПЭБ приведены к сопоставимым условиям сравнения. Оценка носит аналитический характер.

При сравнении ПЭБ приняты исходные данные, представленные в табл. 1.

Основные допущения в рамках сравнения вариантов ПЭБ:

- срок службы рассматриваемых вариантов ПЭБ — 60 лет;
- затраты на проектирование и строительство ПЭБ, включая стартовые затраты, капитальные и эксплуатационные затраты, приведены в относительных единицах (о. е.);
- за одну о. е. в рамках сравнения приняты данные по затратам и показателям по проекту МПЭБ с РУ РИТМ-200С;
- стоимость БГТС принята аналогичной для всех трех вариантов сравнения;
- все варианты ПЭБ — головные объекты.

Одним из определяющих экономических показателей в рамках сравнения вариантов ПЭБ является показатель удельной приведенной стоимости производства единицы электроэнергии — LCOE (Levelized cost of generating electricity). Расчет этого показателя выполнен на основе «Единых отраслевых методических указаний по определению показателя LCOE и предельной стоимости сооружения АЭС в России, обеспечивающей конкурентоспособный уровень показателя LCOE», утвержденных приказом Госкорпорации «Росатом» [7], в дефлированных ценах при разных ставках дисконтирования (3%, 5%, 7%, 10%) с учетом «выпадающих» мощностей (простоя) на период перезарядки активной зоны.

Упрощенная формула показателя LCOE представляет собой отношение суммарных дисконтированных капитальных и эксплуатационных затрат ПЭБ к дисконтированной энерговыработке ПЭБ

$$LCOE = \frac{d(CAPEX + OPEX)}{dW},$$

где  $d$  — коэффициент дисконтирования, используемый для приведения будущих денежных потоков к их текущей стоимости; CAPEX — капитальные затраты на создание и реализацию ПЭБ, о. е.; OPEX — эксплуатационные затраты на всем жизненном цикле ПЭБ, о. е.;  $W$  — энерговыработка ПЭБ, кВт·ч.



Таблица 2. Основные размерения вариантов ПЭБ

Параметр	МПЭБ с РУ РИТМ-200С	ПЭБ с РУ РИТМ-200М	ПЭБ с РУ РИТМ-400М
Длина, м	144,0	144,0	165,0
Ширина, м	30,0	30,0	33,0
Осадка, м	5,5	6,1	6,68
Водоизмещение (порожнем), т	19 088	21 000	30 500

Таблица 3. Затраты по каждому рассматриваемому варианту ПЭБ, о. е.

Вид затрат	МПЭБ с РУ РИТМ-200С	ПЭБ с РУ РИТМ-200М	ПЭБ с РУ РИТМ-400М
Стартовые	1,0	0,899	1,139
Капитальные (CAPEX)	1,0	1,084	1,453
Эксплуатационные (OPEX)	1,0	1,012	1,400

Оценка стартовых, капитальных и эксплуатационных затрат выполнена в ценах и при условиях 2021 г. без учета налога на добавленную стоимость.

Основные размерения вариантов ПЭБ приведены в табл. 2.

#### Результаты сравнения и выбора приоритетного варианта плавучего энергоблока

В рамках сравнения вариантов ПЭБ и выбора приоритетного варианта выполнена оценка показателя LCOE, рассчитанного при разных ставках дисконтирования, с учетом стартовых, капитальных и эксплуатационных затрат по каждому рассматриваемому проекту.

Стартовые затраты включают затраты на разработку технических проектов ключевого оборудования (РУ, ПТУ, автоматической системы управления технологическими процессами, электроэнергетической системы), технического проекта ПЭБ, документации по обоснованию безопасности.

Капитальные затраты (CAPEX) по каждому проекту состоят из затрат на разработку рабочей конструкторской документации, эксплуатационной документации на ключевое оборудование и ПЭБ в целом, строительство ПЭБ на судостроительном предприятии, включая БГТС, поставку основного оборудования, а также оказание услуг по техническому сопровождению.

Эксплуатационные затраты (OPEX) для каждого варианта ПЭБ, рассчитанные в среднегодовом выражении, содержат материальные затраты, включая затраты на обращение с топливом, затраты на оплату труда с учетом налоговых отчислений, накладные расходы и прочие издержки.

В табл. 3 отражены затраты по каждому рассматриваемому варианту сравнения ПЭБ.

Различия стартовых затрат для ПЭБ с РУ РИТМ-200М обусловлены заимствованием документации,

ранее разработанной для МПЭБ с РУ РИТМ-200С (проект 20871), подлежащей незначительной корректировке. Для ПЭБ с РУ РИТМ-400М комплект проектной документации разрабатывается заново.

Разность в капитальных затратах преимущественно вызвана увеличением стоимости постройки ПЭБ с РУ РИТМ-400М, связанной с конструктивными изменениями судовой части и оборудования.

Среднегодовые эксплуатационные затраты ПЭБ с РУ РИТМ-200М незначительно отличаются от проекта 20871. Разница вызвана увеличением затрат на обращение с топливом вследствие применения в составе РУ низкообогащенной металлокерамической активной зоны повышенного энергоресурса. В проекте ПЭБ с РУ РИТМ-400М в составе РУ используется высокообогащенная интерметаллидная активная зона, влияющая на затраты на обращение со свежим и отработавшим ядерным топливом, вследствие этого эксплуатационные затраты преимущественно выше.

Для каждого варианта ПЭБ рассчитан показатель LCOE при разных ставках дисконтирования: 3%, 5%, 7%, 10% (табл. 4).

На рис. 3 продемонстрированы результаты расчета показателя LCOE при разных ставках дисконтирования для рассматриваемых вариантов ПЭБ.

#### Основные выводы по результатам сравнения и выбору приоритетного варианта плавучего энергоблока

По результатам оценок можно сделать следующие выводы:

- переход с МПЭБ на базе РУ РИТМ-200С на ПЭБ с РУ РИТМ-200М не приносит явных экономических преимуществ в связи с увеличением стоимости постройки ПЭБ вследствие изменения компоновочных решений судовой части и, как следствие, повышения водоизмещения судна, обусловленного габаритными показателями РУ РИТМ-200М;

Таблица 4. Результаты расчета показателя LCOE по каждому варианту ПЭБ, о. е./кВт·ч

Ставка дисконтирования	МПЭБ с РУ РИТМ-200С	ПЭБ с РУ РИТМ-200М	ПЭБ с РУ РИТМ-400М
3%	1,0	1,015	0,855
5%	1,0	1,013	0,849
7%	1,0	1,010	0,845
10%	1,0	1,007	0,843

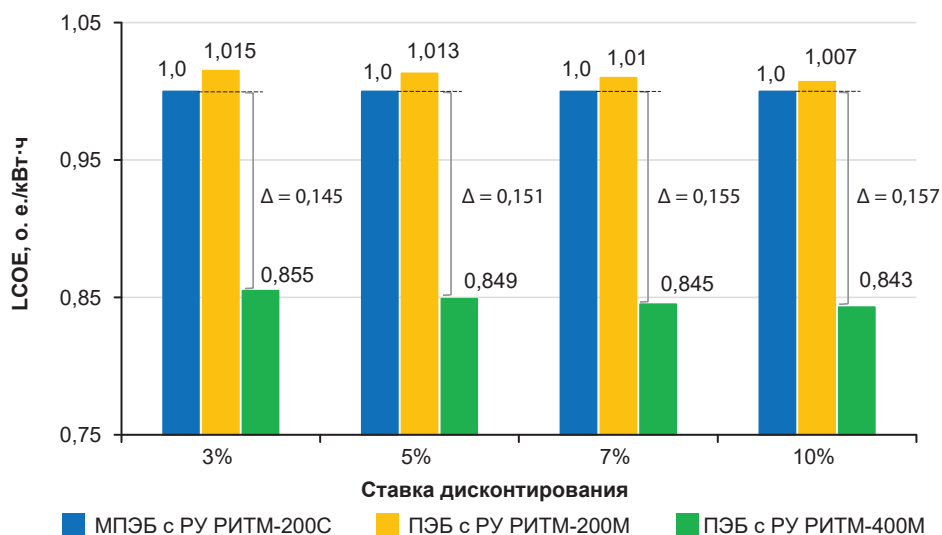


Рис. 3. Результаты оценки показателя LCOE для трех вариантов сравнения ПЭБ (С. М. Брыкалов, А. С. Балыбердин, Д. А. Нырк, Н. В. Шешина, Е. А. Гушина, 2022 г.)

Fig. 3. The LCOE evaluation results for the three compared FPU options (S. M. Brykalov, A. S. Balyberdin, D. A. Nyrkov, N. V. Sheshina, E. A. Gushchina, 2022)

- влияние замены РУ РИТМ-200С в проекте МПЭБ на РУ РИТМ-200М незначительно: расчеты показателя LCOE демонстрируют примерно 1,5%-ное различие между вариантами ПЭБ, что обусловлено рамками погрешности выполняемого расчета;
- налицо безусловное экономическое преимущество по результатам расчета показателя LCOE у проекта ПЭБ с РУ РИТМ-400М вследствие применения РУ с увеличенной в 1,7 раза тепловой мощностью (проработки проекта с более мощной РУ РИТМ-400М ведутся на ближайшую перспективу).

Отметим, что все разрабатываемые проекты ПЭБ для энергоснабжения арктических регионов, рассматриваемые в статье, имеют неоспоримые преимущества, экономическую привлекательность и потенциал как на внутреннем, так и на зарубежном рынках. Реализация проектов АСММ плавучего исполнения способствуют обеспечению устойчивого развития и освоения северных регионов России.

Для потенциальных заказчиков в Российской Федерации должен быть разработан мощный ряд, закрывающий весь возможный диапазон потребностей в электроэнергии. В связи с этим целесообразно разрабатывать варианты ПЭБ с единичной мощностью 50—100 МВт и 100—200 МВт.

### Литература

1. 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.
2. Петров В. А., Волков А. В. Ресурсный потенциал Арктической зоны России // Науч. труды ВЭО России. — 2021. — Т. 228. — С. 181—195. — DOI: 10.38197/2072-2060-2021-228-2-181-195.
3. 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.
4. Никитин В. С., Симонов Ю. А., Половинкин В. Н. и др. Возможности судостроения в создании инфраструктуры в арктическом регионе // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 1 (25). — С. 102—119. — DOI: 10.25283/2223-4594-2017-1-102-119.
5. Никитин В. С., Половинкин В. Н., Симонов Ю. А. и др. Атомная энергетика в арктическом регионе

- // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 4 (20). — С. 86—95.
6. Саркисов А. А., Смоленцев Д. О., Антипов С. В. и др. Перспективы использования атомных энергетических технологий в Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2022. — № 3 (12). — С. 349—358. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358.
7. Единые отраслевые методические указания по определению показателя LCOE и предельной стоимости сооружения АЭС в России, обеспечивающей конкурентоспособный уровень показателя LCOE. — URL: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/84c/84cda25e9d68bc5c74334915e834bb80.pdf>.
8. Петрунин В. В. Реакторные установки для атомных станций малой мощности // Вестн. Рос. акад. наук. — 2021. — Т. 91, вып. 6. — С. 528—540.
9. Беляев В. М., Большухин М. А., Пахомов А. Н. и др. Опыт создания первой в мире плавучей АЭС. Направления дальнейшего развития // Атом. энергия. — 2020. — Т. 129, вып. 1. — С. 37—43.
10. Кучинов В. П., Лазарев А. Е., Мальев В. В. и др. Плавучие энергоблоки и гарантии МАГАТЭ // Атом. энергия. — 2021. — Т. 131, вып. 6. — С. 346—351.
11. Большое будущее малой мощности. — URL: [rusatom-overseas.com/ru/smr/bolshoe-budushchee-maloy-moshchnosti](https://rusatom-overseas.com/ru/smr/bolshoe-budushchee-maloy-moshchnosti).
12. Баймский ГОК обеспечат энергией плавучие АЭС. — URL: [strana-rosatom.ru/2021/11/17/ritmichnaya-dobycha-baimskij-gok-obespe](https://strana-rosatom.ru/2021/11/17/ritmichnaya-dobycha-baimskij-gok-obespe).
13. Родом из Арктики. — URL: [rusatom-overseas.com/ru/smr/rodom-iz-arktiki](https://rusatom-overseas.com/ru/smr/rodom-iz-arktiki).
14. Буклет «Судостроение». — URL: [aem-group.ru/static/images/buklety/2020/Booklet\\_sudostroenie.pdf](https://aem-group.ru/static/images/buklety/2020/Booklet_sudostroenie.pdf).

### Информация об авторах

**Брыкалов Сергей Михайлович**, доктор экономических наук, заместитель генерального директора по судовым проектам и проектам малой энергетики, «ОКБМ Африкантов» (603074, Россия, Нижний Новгород, Бурнаковский проезд, д. 15), e-mail: [sm-brykalov@okbm.nnov.ru](mailto:sm-brykalov@okbm.nnov.ru).

**Балыбердин Алексей Сергеевич**, начальник отдела технико-экономических исследований, «ОКБМ Африкантов» (603074, Россия, Нижний Новгород, Бурнаковский пр., д. 15), e-mail: [balyberdin@okbm.nnov.ru](mailto:balyberdin@okbm.nnov.ru).

**Нырково Денис Александрович**, инженер-конструктор отдела технико-экономических исследований, «ОКБМ Африкантов» (603074, Россия, Нижний Новгород, Бурнаковский пр., д. 15), e-mail: [nyrkovd@okbm.nnov.ru](mailto:nyrkovd@okbm.nnov.ru).

**Шешина Наталья Владимировна**, инженер-конструктор отдела технико-экономических исследований, «ОКБМ Африкантов» (603074, Россия, Нижний Новгород, Бурнаковский пр., д. 15), e-mail: [natasha.sheshina@mail.ru](mailto:natasha.sheshina@mail.ru).

**Гущина Елена Алексеевна**, инженер-конструктор отдела технико-экономических исследований, «ОКБМ Африкантов» (603074, Россия, Нижний Новгород, Бурнаковский пр., д. 15), e-mail: [guchina\\_ea@okbm.nnov.ru](mailto:guchina_ea@okbm.nnov.ru).

### Библиографическое описание данной статьи

Брыкалов С. М., Балыбердин А. С., Нырково Д. А. и др. Выбор приоритетного варианта плавучего энергоблока по анализу технико-экономических показателей // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12, № 4. — С. 551—558. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-551-558.

## SELECTION OF THE PRIORITY OPTION FOR A FLOATING POWER UNIT BASED ON ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS

Brykalov, S. M., Balyberdin, A. S., Nyrkov, D. A., Sheshina, N. V. Gushchina, E. A. Afrikantov OKBM JSC (Nizhny Novgorod, Russian Federation)

The article was received on July 26, 2022

### Abstract

Designs of floating power units equipped with innovative reactor installations market a new class of energy sources based on Russian nuclear shipbuilding technologies. Evaluation of various options for floating power units makes it possible to determine the most priority option based on an analysis of technical and economic indicators, including the Levelized Cost of Electricity (LCOE) index.

**Keywords:** nuclear power, small nuclear power plants, floating power unit, reactor installation, technical and economic indicators, LCOE.

## References

1. 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).
2. Petrov V. A., Volkov A. V. Resource potential of the Arctic zone of Russia. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*, 2021, vol. 228, pp. 181—195. DOI: 10.38197/2072-2060-2021-228-2-181-195. (In Russian).
3. 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).
4. Nikitin V. S., Simonov Yu. A., Polovinkin V. N. et al. Shipbuilding capabilities for creating the infrastructure in the Arctic region. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2017, no. 1 (25), pp. 102—119. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-1-102-119. (In Russian).
5. Nikitin V. S., Polovinkin V. N., Simonov Y. A., Ustinov V. S., Kuznetsov V. P., Makarov V. I. Nuclear Energy in the Arctic Region. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2015, no. 4 (20), pp. 86—95. (In Russian).
6. 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. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2022, vol. 12, no. 3, pp. 349—358. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358. (In Russian).
7. Unified industry-wide guidelines to determine LCOE and the marginal cost of NPP construction in Russia ensuring a competitive LCOE index level. Available at: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/84c/84cda25e9d68bc5c74334915e834bb80.pdf>.
8. Petrunin V. V. Reactor Units for Small Nuclear Power Plants. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2021, vol. 91, iss. 6, pp. 528—540. (In Russian).
9. Belyaev V. M., Bol'shukhin M. A., Pakhomov A. N. et al. The World's First Floating NPP: Origination and Direction of Future Development. *Atomic Energy*, 2020, vol. 129, iss. 1, pp. 37—43. (In Russian).
10. Kuchinov V. P., Lazarev A. E., Malev V. V., Salnikova N. A., Shmelev I. V., Davydov I. L. Floating Power Units and IAEA Safeguards. *Atomic Energy*, 2021, vol. 131, iss. 6, pp. 346—351. (In Russian).
11. Bol'shoye budushchee maloi moshchnosti. Available at: [rusatom-overseas.com/ru/smr/bolshoe-budushchee-maloy-moshchnosti](http://rusatom-overseas.com/ru/smr/bolshoe-budushchee-maloy-moshchnosti).
12. Baimskii GOK obespechat energiei plavuchie AES. Available at: [strana-rosatom.ru/2021/11/17/ritmichnaya-dobycha-baimskij-gok-obespe](http://strana-rosatom.ru/2021/11/17/ritmichnaya-dobycha-baimskij-gok-obespe).
13. Rodom iz Arktiki. Available at: [rusatom-overseas.com/ru/smr/rodom-iz-arktiki](http://rusatom-overseas.com/ru/smr/rodom-iz-arktiki).
14. Buklet "Sudostroenie". Available at: [aem-group.ru/static/images/buklety/2020/Booklet\\_sudostroenie.pdf](http://aem-group.ru/static/images/buklety/2020/Booklet_sudostroenie.pdf).

## Information about the authors

**Brykalov, Sergei Mikhailovich**, Doctor of Economics, Deputy General Director for Marine Projects and Small-Sized Power Generation Projects, Afrikantov OKBM, Joint-Stock Company (15, Burnakovskiy proezd, Nizhny Novgorod, Russia, 603074), e-mail: [sm-brykalov@okbm.nnov.ru](mailto:sm-brykalov@okbm.nnov.ru).

**Balyberdin, Aleksei Sergeevich**, Head of Department for Technical and Economic Studies, Afrikantov OKBM, Joint-Stock Company (15, Burnakovskiy proezd, Nizhny Novgorod, Russia, 603074), e-mail: [balyberdin@okbm.nnov.ru](mailto:balyberdin@okbm.nnov.ru).

**Nyrkov, Denis Aleksandrovich**, Design Engineer of Department for Technical and Economic Studies, Afrikantov OKBM, Joint-Stock Company (15, Burnakovskiy proezd, Nizhny Novgorod, Russia, 603074), e-mail: [nyrkovd@okbm.nnov.ru](mailto:nyrkovd@okbm.nnov.ru).

**Sheshina, Natal'ya Vladimirovna**, Design Engineer of Department for Technical and Economic Studies, Afrikantov OKBM, Joint-Stock Company (15, Burnakovskiy proezd, Nizhny Novgorod, Russia, 603074), e-mail: [natasha.sheshina@mail.ru](mailto:natasha.sheshina@mail.ru).

**Gushchina, Elena Alekseevna**, Design Engineer of Department for Technical and Economic Studies, Afrikantov OKBM, Joint-Stock Company (15, Burnakovskiy proezd, Nizhny Novgorod, Russia, 603074), e-mail: [guchina\\_ea@okbm.nnov.ru](mailto:guchina_ea@okbm.nnov.ru).

## Bibliographic description of the article

**Brykalov, S. M., Balyberdin, A. S., Nyrkov, D. A., Sheshina, N. V., Gushchina E. A.** Selection of the priority option for a floating power unit based on the analysis of technical and economic indicators. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 551—558. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-551-558. (In Russian).