

Экономика и технологии плавающих атомных теплоэлектростанций: ПАТЭС «Академик Ломоносов»

© В.Г. Родионова

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Исследованы новые подходы к оценке общественной значимости электроэнергетики и проявления тенденции перехода от статичности к динамичным инновационным изменениям в инфраструктуре размещаемых электростанций. Отмечена особая значимость водных пространств как уникального варианта размещения электростанций. Рассмотрен вариант плавучей атомной теплоэлектростанции на традиционных для АЭС ископаемых энергоносителей ядерного топлива, которая на текущий момент является единственным энергетическим объектом данного вида, готовым к размещению и эксплуатации в акватории российского арктического побережья, на Чукотке, в районе порта Певек. Экономические аспекты выбора такого вида электростанций обусловлены особой значимостью отечественных морских регионов; их природно-климатическими условиями, в частности российского арктического побережья; инновационными технологиями Росэнергоатома, предпочтительными для плавучих электростанций; коммерческими перспективами их реализации на отечественных и мировых рынках водных пространств.

Ключевые слова: экстенсивность, статическая эффективность, динамическая эффективность, конкурентные преимущества, энергетические рынки, рынки морских пространств, EnergyNet, MariNet, плавучая автономная электростанция, генерация электроэнергии, генерация теплоты, опреснение морской воды, тариф, предельные затраты, будущие затраты, проблема временных несоответствий

Новые тенденции в электроэнергетике выражены в частичной смене статичного состояния материковой электроэнергетики и переходе к динамичному использованию высокотехнологичных плавающих электростанций в поверхностных водных пространствах. В зарубежных странах более предпочтительны плавучие электростанции ВИЭ-генерации энергии из альтернативных источников окружающей среды.

С учетом специфики отечественных морских регионов в системе Росэнергоатома разработан вариант плавучей атомной тепловой электростанции (ПАТЭС) «Академик Ломоносов». Преимущества такого вида электростанций и экономические перспективы самоокупаемости ПАТЭС являются предметом обсуждений.

По мнению автора, участники дискуссии недостаточно учитывают изменившиеся в общемировой практике подходы к оценкам общественной значимости объектов, финансируемых из федерального бюджета, а также специфику природно-климатических условий реги-

онов для использования плавучих электростанций, в том числе в прибрежной акватории Арктики на Чукотке и др. При анализе перспектив коммерциализации ПАТЭС не учтены глобальные перспективы растущих потребностей в электроэнергетике, например технологии опреснения морской воды.

Проявления новых тенденций в сфере электроэнергетики связаны с возрастающей общей ценностью и социально-экономической значимостью современной электроэнергетики, в частности с необходимостью энергоснабжения отдаленных регионов страны, включая территории российского Крайнего Севера, Камчатки и других отечественных морских регионов с прибрежными водными пространствами.

Сопутствующим и не менее значимым фактором является общий технико-технологический прогресс, в частности инновации в отечественной электроэнергетике, существенно влияющий на формирование благоприятных социально-экономических условий в регионах, где осуществляется применение данных инноваций.

Во-первых, выравниваются бытовые и промышленные условия территорий РФ, которые до недавнего времени на 2/3 не были охвачены центральным энергоснабжением.

Во-вторых, поверхностные водные пространства оказались особым фактором позитивного содействия тенденциям динамичных изменений в сфере электроэнергетики.

Водное пространство — уникальная среда, которая наравне с материковыми пространствами во все времена использовалась в экономической деятельности и при размещении производительных сил.

Прежде всего особо высоко ценятся речные гидроресурсы, в том числе для генерации электроэнергии. Тенденции научных разработок также во все времена способствовали использованию водных пространств. Объективная основа этих тенденций выражена в известном природном феномене соотношения пространств Земли, где лишь 30 % — поверхность материковых территорий, 70 % — Мировой океан и внутритерриториальные малые водные поверхности (озера и реки). Природный ресурсный потенциал водных пространств уникален также в его значительном влиянии на изобретения и выбор способов освоения поверхностных вод и сопряженных прибрежных территорий.

Примерами традиционной и растущей многоотраслевой деятельности служат транспортное судоходство, промыслово-промышленная сфера, многие отрасли современной высокотехнологичной деятельности. К их числу относятся плавучие электроэнергетические платформы по обслуживанию космических стартовых комплексов, размещенных в водных пространствах экваториального пояса Мирового океана или в его прибрежных регионах.

Например, на стартовых комплексах осуществляются запуски частных ракет компании SpaceX, основанной Илоном Маском. При-

мером морской космической деятельности служат также коммерческие программы РКК «Энергия», Конструкторского бюро транспортного машиностроения и КБ «Южное» им. М.К. Янгеля, осуществляемые совместно с американскими компаниями See launch и Lockheed Martin [1].

Отечественные отрасли добычи ископаемых природных ресурсов — нефти, газа и других — также перемещаются в акватории водных пространств. Непременным условием делового процесса этих отраслей служат энергетические плавучие платформы, использующие ресурсы-энергоносители, приемлемые в различных климатических регионах.

Например, российский арктический регион располагает высоким потенциалом добывающей и перерабатывающей металлургической и других отраслей промышленности. Ископаемые ресурсы углеводородов на российской материковой части, а также в акватории арктического водного пространства, еще в начале XXI в. оценивались примерно в 250 млрд т условного топлива. По расчетам отечественных ученых, даже при существующих темпах и объемах их годовой добычи, а также с учетом снижающихся мировых цен, деятельность добывающих предприятий теоретически может продолжаться около 100 лет [2].

Российские компании, например «Газпром нефть шельф», осуществляют непрерывный, круглогодичный технологический процесс добычи полезных ископаемых. Обустройство плавучих платформ требует существенных расходов на их энергетическое обслуживание, влияющих на себестоимость и конкурентоспособность конечной продукции. Добыча ископаемых в морских акваториях — особо сложный и энергоемкий процесс, соответственно задача плавучей электроэнергетики — обеспечить снижение себестоимости добытых ресурсов.

С материковых территорий в водные пространства перемещаются разнообразные высокотехнологичные и энергоемкие производства. Они сформировали новые сегменты высококонкурентного рынка морской отрасли. Дорожная карта морских рынков — MariNet — одобрена Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России. «Дорожная карта является документом целеполагания, выступающим основой для разработки проектов Национальной технологической инициативы. Реализация дорожной карты осуществляется в форме таких проектов, прошедших отбор в установленном порядке. Содержащиеся в дорожной карте сведения (сроки, значимые контрольные результаты, оценки рынка и другие параметры) носят индикативный характер, не могут рассматриваться как описание непосредственно выполняемых мероприятий, не являются основанием для направления средств государственной поддержки в любой форме и будут пересматриваться в ходе реализации дорожной карты» [3].

Рост конкурентного потенциала участников энергетических компаний будет востребован в зависимости от реальных преимуществ и эффектов, воплощенных в инновационных технологиях. Экономическая основа их конкурентных преимуществ — в снижении себестоимости функциональных процессов разноотраслевой деятельности в водных пространствах. Рыночные ниши этой сферы способны занять отечественные разработки атомной электроэнергетики.

Смена статичности и переход к динамичному развитию в современной электроэнергетике — это сравнительно новая тенденция отраслевых перемен, проявляющихся однонаправленно, но неравномерно, поскольку в новых тенденциях присутствуют также противодействующие факторы.

В современной экономической науке такие тенденции во всех сферах определяются категориями, объясняющими общественную, социально-экономическую значимость и ценность капитальных активов и/или преобразований, финансируемых государственными бюджетными ресурсами. В частности, такие категории содержатся в концепции создания общей ценности, исследуемой зарубежными авторами [4], а также освещаются в отечественных исследованиях и разработках [5]. Применительно к сфере электроэнергетики новые экономические тенденции и явления способны приобретать свойства устойчивых причинно-следственных закономерностей, воплощаясь в реальных инновациях и их практическом применении для роста показателей эффективности.

Подтверждением новых тенденций в практике зарубежной и отечественной электроэнергетики служит наметившаяся частичная смена ее статичной инфраструктуры и технологий (англ. *static efficiency*). При использовании инноваций в любой экономической системе инфраструктурные и технологические преобразования способствуют росту динамической эффективности (англ. *dynamic efficiency*) [6].

Особенность статичной инфраструктуры электроэнергетики, размещаемой преимущественно в материковых пространствах, генерация энергии и теплоты связаны с наиболее доступными ресурсами-энергоносителями, к числу которых издавна относятся гидроресурсы. По традиции во всех странах до настоящего времени водные пространства используются преимущественно как гидроресурсы. Они служат «силовой» основой как для крупных, капиталоемких гидроэлектростанций — ГЭС, так и для распределенной электроэнергетики простых и малых электростанций локального применения.

Помимо гидростанций, используются также дизельные установки на углеводородных энергоносителях (мазут, бензин и др.). В базовой энергетике теплоэлектростанций (ТЭС, ТЭЦ) в городах и центрах промышленности такой энергоноситель, как уголь, интенсивно заме-

няется природным газом, который является топливным ресурсом. В базовой атомной электроэнергетике АЭС не имеется замещаемых энергоносителей, а реакторные установки применяются в различных видах транспортных средств морского судоходства.

Динамические изменения во всех сферах экономической деятельности, в частности и в электроэнергетике, это интенсификация процесса перемен на основе инноваций, способствующих улучшению показателей гуманитарной, социально-экономической и экологической эффективности. Специфика и новизна тенденции динамических внутриотраслевых изменений в электроэнергетике способствуют ускорению формирования отечественных и глобальных конкурентных рынков. Они, в свою очередь, стимулируют внутриотраслевые разработки и использование высоких технологий, которые ранее либо не существовали, либо не имели отчетливо выраженных форм, в том числе и при растущих масштабах отраслевой инфраструктуры.

Плавучие электростанции как инновационные энергетические объекты. Особенность современных тенденций в электроэнергетике заключается в использовании новых, высокотехнологичных объектов генерации электроэнергии и теплоты для промышленного и бытового потребления, размещаемых в водных пространствах. Новые виды генерирующих энергетических объектов независимо от используемых ими ресурсов-энергоносителей размещаются непосредственно в прибрежных и более отдаленных морских акваториях, вследствие чего они получили название «плавучие электростанции».

Фактор расширяющегося использования водных пространств позволяет преодолеть относительную ограниченность материковых территорий и рост цен на землю. Появление плавучих электростанций способствует преодолению территориально-материковых ограничений для размещения инфраструктуры электроэнергетики. Соответственно, частично изменяются традиционная статичность размещения материковой инфраструктуры электроэнергетики, ее технико-технологический функционал, а также ресурсы-энергоносители.

Современные плавучие варианты электростанций пригодны для дислокации в прибрежных водных пространствах и в более отдаленных морских акваториях. Альтернативные станции ВИЭ-генерации энергии и теплоты из ресурсов окружающей среды (энергии ветра, солнца и др.) издавна размещались рядом с хозяйственно-экономическими предприятиями. В настоящее время при возросших энергетических потребностях этот вид генерации во всех странах не просто масштабно расширяется, но перемещается также в виде плавучих электростанций в водные пространства. Во многих государствах возросла заинтересованность деловых компаний и потребителей в плавучих электростанциях, демонстрирующих оригинальность технико-технологических находок в сфере ВИЭ-генерации [7].

В электроэнергетике, как статичной отрасли индустриального типа, новые тенденции проявляются лишь в частичной смене ее материкового размещения. Динамизм развития этих тенденций и перемещение инфраструктуры электростанций в поверхностные водные пространства прибрежных и морских акваторий будут определяться направлениями развития производительных сил. Несмотря на проблемы и закономерности временных несоответствий и противоречий, тенденции динамической эффективности электроэнергетики будут преобладать при решении общественно значимых, социально-экономических и гуманитарных задач.

Для наращивания динамических изменений и конкурентных преимуществ необходимо обеспечить приоритеты в энергоснабжении, а также снизить себестоимость деятельности многоотраслевых компаний, размещающих инфраструктуру своих производительных сил в водных пространствах.

Противодействующие тенденции перехода от статичности к динамическим переменам в электроэнергетике также существуют. Объективной причиной сохраняющейся статичности традиционных базовых объектов в электроэнергетике является достаточно очевидная и особо высокая капиталоемкость инфраструктуры ГЭС, АЭС, ТЭС, ТЭЦ.

Статичность в электроэнергетике во многом обусловлена длительными сроками строительства электростанций, высокой материалоемкостью инфраструктурных строений, линий электропередачи, хранения оборудования и отработанных материалов на протяжении продолжительного времени. Например, продолжительность жизненного цикла ТЭС не менее 40 лет, а ГЭС и АЭС — более 80 лет.

По совокупности перечисленных особенностей рассматриваемой тенденции в сфере электроэнергетики процесс обновления в ее отраслях находится в начальной стадии. В середине XX в. предпринимались попытки экспериментального использования плавучей атомной электростанции в США. Сообщения об этом эксперименте обсуждаются до настоящего времени.

Дискуссии аналитиков в сфере электроэнергетики периодически возобновлялись в связи с началом разработок в ряде стран альтернативной энергетики и установок ветровой генерации энергии, в том числе в открытых водных пространствах [8].

Плавучие электростанции на альтернативных источниках энергии имеют сравнительно низкую себестоимость и являются экологически безопасными. Потенциал их практической реализации отмечался в нескольких конкурентных вариантах плавучих альтернативных электростанций.

В 2007 г. обсуждения вопросов альтернативной энергетики совпали с сообщением о заказе «Росатомом» отечественного проекта ПАТЭС для размещения в районе российского арктического побережья Чукотки.

В данном регионе невозможно стабильное энергообеспечение с помощью солнечных, ветровых или приливных установок из-за недостаточности соответствующих ресурсов окружающей среды и/или преобладания ветров и холода. Здесь постоянно существуют критические условия дефицита солнечного света и чрезмерной разрушительной силы ветров, достигающих скорости 80 м/с, а также учитывается экологический факт того, что арктический ледяной покров является крайне чувствительным к любым антропогенным последствиям использования углеродных ресурсов, в том числе и для генерации электроэнергии и теплоты.

При выборе и реализации проекта ПАТЭС значимым оказался отечественный опыт 1960–1970-х гг. по строительству, использованию и обслуживанию функционирующих до настоящего времени двух самых северных АЭС: Кольской АЭС (введена в строй в 1973 г. с четырьмя блоками по 440 МВт) и Билибинской АЭС на Чукотке (введена в строй в 1974 г. с четырьмя блоками по 12 МВт). При этом в существующей на Чукотке Чаун-Билибинской энергетической системе к 2020–2021 гг. завершается плановый срок функционирующей Билибинской АЭС. Соответственно, требуется ее эффективное и равноценное замещение с общим обновлением всей энергосистемы региона. По совокупности перечисленных и других обстоятельств Государственная корпорация «Росатом» начала разработку проекта ПАТЭС (рис. 1) в 2007 г. [9].

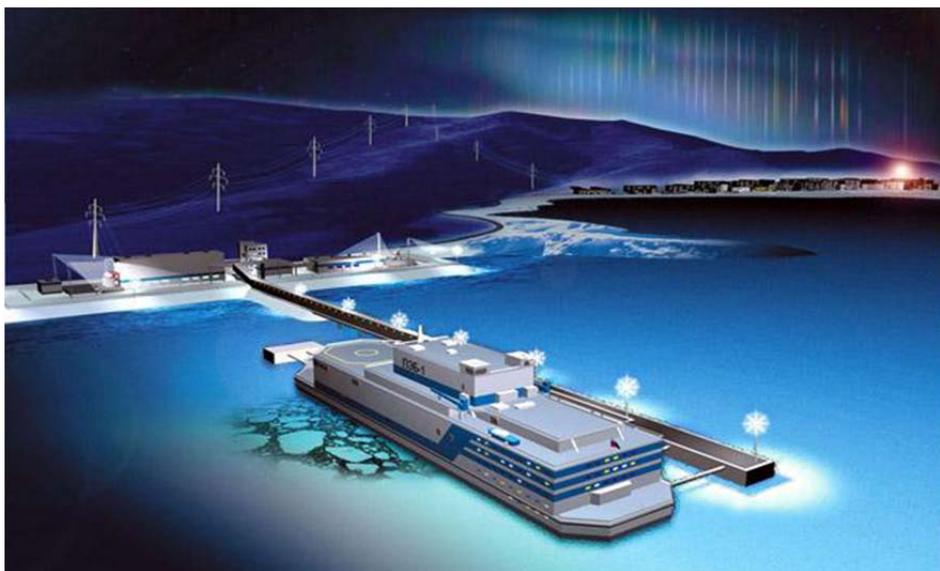


Рис. 1. ПАТЭС «Академик Ломоносов»: инфографика модели и ее дислокации в прибрежной акватории Арктики (Чукотский АО) [9]

В 2007 г. отечественные ученые, обосновывая размещение атомного энергетического объекта в водных пространствах, ссылались на некоторые данные неудачного опыта США в 1960–1970 гг. с плавучей АЭС МН-А1 Sturgis [10].

Оппоненты отмечали, что строительство АЭС, размещаемых как в материковых, так и в водных пространствах, является особо затратным. В частности, в 1960-х гг. стоимость американской АЭС МН-А1 Sturgis была около 17 млн долл. Но реальный опыт создания и использования американской плавучей АЭС практически не освещался в СМИ и научных публикациях. Неизвестны также причины повреждения АЭС МН-А1 Sturgis в процессе ее транспортировки после использования в военных целях в районе Персидского залива. Отсутствуют сведения о характере повреждений и содержании требуемого ремонта.

В 2016 г. исполнилось 40 лет со времени вывода из эксплуатации АЭС МН-А1 Sturgis, что способствовало возобновлению дискуссии об опыте США по созданию данного варианта плавучей АЭС. Оппоненты предполагали, что вынужденное хранение этого объекта до настоящего времени косвенно свидетельствует о высоких затратах для утилизации МН-А1 Sturgis.

Более подробные сведения из истории создания и использования американской плавучей электростанции в 1960–1970-е гг. представлены в статье [10].

На рис. 2 показана инфографика АЭС МН-А1 Sturgis [11].



Рис. 2. Инфографика экспериментальной плавучей АЭС МН-А1 Sturgis (США) [11]

Примечание. Для создания и использования плавучей атомной АЭС МН-А1 Sturgis был использован военный транспорт Charles H. Cugle с установленным водо-водяным реактором мощностью 10 МВт. В целях безопасности самостоятельное передвижение судна не осуществлялось, поэтому оно имело вид буксируемой баржи. В современных комментариях отмечается, что первоначальное размещение плавучей АЭС было осуществлено на базе инженерных войск США в районе Форт-Белвуара, штат Вирджиния, где примерно 7 лет изучалась и определялась ее эффективность как источника генерации электроэнергии. В дальнейшем МН-А1 Sturgis была перебазирована к Панамскому каналу, где использовалась для обслуживания военных действий США во время Вьетнамской войны. В 1976 г. было принято решение о выводе этой плавучей электростанции из эксплуатации для ее консервации в связи с полученными повреждениями во время возвращения к базе Форт-Белвуар. Особенности жизненного цикла, закрытый характер использования этого объекта военного назначения, а также специфика его повреждений или ремонта практически неизвестны. В 2014 г. инженерные войска США приняли решение об утилизации реакторной установки плавучей АЭС МН-А1 Sturgis.

Краткая история создания и технико-технологические характеристики отечественной ПАТЭС. Отечественный ПАТЭС «Академик Ломоносов» — воплощение суммарно накопленной наукоёмкой деятельности нескольких инженерно-технических отраслей.

Проектировщик плавучего энергоблока — ОАО ЦКБ «Айсберг». Генеральный проектировщик — ЗАО «Атомэнерго». Поставка реакторных установок была успешно выполнена АО «ОКБМ Африкантов». Изготовление судна соответствующего назначения осуществлялось около 8 лет, в том числе с 2013 г. — на верфи Балтийского завода, где были задействованы около 700 специалистов и исполнителей разработки. Работы осуществлялись также при участии ОАО «Малая энергетика». Турбины изготовлены на Калужском турбинном заводе. Особая и многофункциональная роль отведена ОАО «Концерн «Росэнергоатом», входящему в состав госкорпорации «Росатом», как единственному в стране российскому оператору, эксплуатирующему в настоящее время 10 отечественных АЭС с 36 атомными реакторами. Применен также накопленный опыт отечественной промышленности морского судостроения; учтена мировая и отечественная практика использования атомных ледоколов и других видов судоходства. Приняты во внимание доказанный потенциал и возможность безопасной эксплуатации плавучих объектов с установленными ядерными реакторами, их физическая защита в акватории морей в любых климатических условиях.

Согласно концепции «Росатома» 2007 г., ПАТЭС изначально предназначалась для решения текущих и перспективных задач энергообеспечения российского арктического побережья Чукотки с учетом особо сложной климатической специфики этого региона.

По внешним технико-технологическим параметрам ПАТЭС «Академик Ломоносов» имеет вид гладкопалубного несамостоятельного

судна, приспособленного для обычной буксировки морским или речным путем к инфраструктуре, предназначенной для дислокации объекта данного вида в регионах с любыми климатическими условиями. В том числе в отдаленных прибрежных территориях, где требуется энергоснабжение населенных пунктов, портов и/или крупных предприятий, а также для добывающих газовых и нефтяных платформ, расположенных в открытом морском пространстве и/или в прибрежных регионах континентальных шельфов.

Длина корпуса судна с энергоблоком — 144 м; ширина — 30 м; водоизмещение — 21,5 тыс. т. В проектом варианте ПАТЭС генерация энергии и теплоты предусмотрена с использованием двух реакторных установок ледокольного типа с необходимым ресурсом ядерного топлива. Энергетическая мощность ПАТЭС обеспечена двумя реакторными установками КЛТ-40С с рассчитанной для них суммарно максимальной мощностью 70 МВт; тепловая мощность данной атомной электростанции — 140 Гкал/ч.

Жизненный цикл данной электростанции рассчитан на 40 лет для восполнения не только текущего дефицита электроэнергии, но и для обеспечения растущих в перспективе потребностей примерно 200 000 жителей населенных пунктов Чукотского АО. С помощью соответствующих дополнительных технологий на ПАТЭС будет осуществляться опреснение морской воды. Ежесуточная производительность ПАТЭС от 40 до 240 тыс. м³ пресной воды, предназначенной для бытовых и хозяйственных целей.

Предусмотрены три интервальных цикла перезагрузки ядерного топлива в реакторы ПАТЭС через каждые 12,5–13 лет. Функции обращения с радиоактивными, жидкими и твердыми отходами и другие специфические функции будут осуществляться на предприятиях с соответствующими условиями. При реализации проекта ПАТЭС 2007 г. учтена необходимость соблюдения стандартных характеристик: запаса прочности для электростанции данного типа, гарантий безопасности ее обеспечения ресурсами-энергоносителями; предусмотрены условия физической защиты электростанции как ядерного объекта; соблюдены стандарты обращения с отработанным топливом, т. е. радиоактивными отходами.

ПАТЭС как высокотехнологичный объект мирного атома соответствует единым международным стандартам, которые применяются для океанических и морских судов с атомными энергетическими установками и эксплуатируются в составе флотов не только в России, но также в США, КНР, Великобритании, Франции и других странах.

ПАТЭС «Академик Ломоносов», как и другие плавучие объекты морского судоходства (в том числе атомный ледокольный флот) на ядерном топливе, соответствует всем требованиям Международного

агентства по атомной энергии о гарантиях отсутствия угроз окружающей среде, недопущения использования реакторного топлива для каких-либо иных целей, в частности терроризма или шантажа.

В 2017 г. завершается проверка работоспособности основного оборудования для начала загрузки в реакторы ядерного топлива; проводятся швартовые испытания готовой к эксплуатации ПАТЭС «Академик Ломоносов». Окончание работ и определение готовности плавучего энергоблока к транспортировке в регион российского Крайнего Севера, на Чукотку предполагается по мере завершения строительства береговых сооружений в районе чукотского порта Певек как основного места дислокации ПАТЭС.

На рис. 3 представлена инфографика ПАТЭС «Академик Ломоносов», готового к доставке и дислокации в регионе российского Крайнего Севера [12].

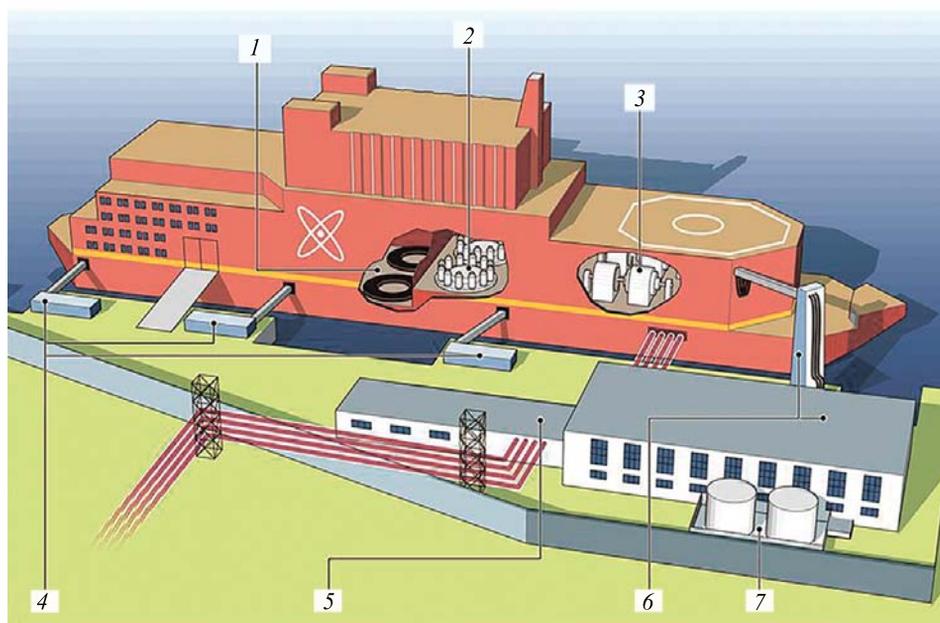


Рис. 3. Инфографика ПАТЭС «Академик Ломоносов» [12]:

1 — хранилище отработанного топлива и радиоактивных отходов; 2 — реакторные установки; 3 — паротурбинные установки; 4 — гидротехнические сооружения; 5 — тепловой пункт; 6 — устройства передачи электроэнергии; 7 — баки горячей воды

Для дислокации готовой к эксплуатации ПАТЭС потребуются завершить строительство нового инфраструктурного комплекса на площади примерно 12 га, в том числе новых сооружений защищенной акватории и прибрежного мола-причала протяженностью около 600 м. Предстоит осуществить ремонт изношенных за 40 лет сетей Чаун-Билибинского энергетического узла и подключить ПАТЭС к

береговой инфраструктуре новых энергосетей. Новые линии электропередачи (ЛЭП) будут соединены с потоком генерируемой энергии от ПАТЭС для передачи ее потребителям.

Общественная ценность и социально-экономическая значимость капитальных объектов в сфере электроэнергетики традиционно оцениваются показателями отраслевого набора основного и дополнительного оборудования с его функциями. К *основным показателям* относятся такие, как номинальная мощность электростанции (кВт/ч в единицу времени); среднегодовое производство электроэнергии, кВт/ч; коэффициент использования мощности; цена (тариф) электроэнергии в денежном выражении за кВт/ч. Дополнительные показатели сравнительных преимуществ, в частности ПАТЭС, заключаются в потенциале установки технологического оборудования, например, для опреснения морской воды.

Примечание. Рассчитанный до 2030 г. потенциал рынка MariNet и перспективы технологий опреснения морской воды в денежном эквиваленте оцениваются примерно в 2 трлн долл. Значимость решения проблемы опреснения морской воды определяется фактом неравных соотношений планетарных запасов и состава водных ресурсов. В Мировом океане преобладает соленая вода, тогда как запасов пресной воды на планете всего 3 %, а пригодной для употребления питьевой пресной воды — 1 %.

Для сооружаемых «Росатомом» АЭС оптимальным считается сочетание гибридного комплекса опреснительного оборудования на основе двух технологий: многоступенчатой дистилляции и обратного осмоса. Такой комплекс надежнее на случай отсутствия источника тепловой энергии, что, например, возможно при перегрузке топлива или остановке энергоблока — обратноосмотическая часть может питаться от внешней сети, считают атомщики. Также предусмотрена установка опреснительного оборудования выпаривания как вариант подстраховки от дополнительных расходов при ухудшении качества морской воды. С повышением содержания примесей в воде предстоит чаще менять мембраны установки обратного осмоса. Благодаря использованию гибридного решения, в частности, компания «Русатом Энерго Интернешнл» рассчитывает значительно снизить риски роста эксплуатационных затрат и обеспечить стабильное качество конечного продукта. Атомщики считают также, что состав комплекса можно варьировать вплоть до монорешений: только на базе испарительной технологии либо только на базе обратноосмотической. Основой типового экспортного проекта, интегрированного с АЭС большой мощности, может быть опреснительный комплекс с производительностью 170 тыс. м³ питьевой воды в сутки [13].

Перспективы коммерциализации ПАТЭС «Академик Ломоносов» как базового капитального актива определяются его долгосрочным

жизненным циклом и влиянием на социально-экономический прогресс в российском регионе арктических водных пространств. Без тепло- и электроэнергетики любой регион способен погрузиться в первобытное состояние. Благодаря строительству ПАТЭС можно добиться таких позитивных изменений в регионе, как создание новых рабочих мест, достижение комфортности в сферах быта и отдыха населения, улучшение здравоохранения, образования, доступность интернет-услуг и др.

Официально объявленная стоимость ПАТЭС — около 30 млрд руб. бюджетных ресурсов [14] — эквивалент общей значимости ожидаемых перемен, подлежащих воплощению.

Потенциал коммерциализации электростанций типа ПАТЭС «Академик Ломоносов» позитивно оценивается в Аналитическом кредитном рейтинговом агентстве (АКРА) [15]. Предварительно определяемая цена генерации 70 МВт ПАТЭС эквивалентна по стоимости примерно 22 млрд руб., но для такого инновационного энергетического объекта ниша системы рынков MarjNet практически свободна.

Сроки окупаемости частных инвестиций для приобретения ПАТЭС потребуют периодов различной длительности и приемлемых для бизнеса преференций, льгот и других стимулов. В отечественных регионах предполагаемого размещения электростанций, аналогичных ПАТЭС, в частности на Камчатке (Вилючинск) и Таймыре, важным фактором окупаемости являются приемлемые для бизнеса условия соинвестирования, преференции, льготы и другие стимулы, а также уровень электроэнергетических тарифов. В отдаленных регионах размещения и использования электростанций данного образца они существенно различаются и, соответственно, влияют на себестоимость основной деятельности компаний. В особенности это относится к себестоимости добычи полезных ископаемых в труднодоступных, прибрежных или более отдаленных морских акваториях.

Электроэнергетическими тарифами частично компенсируются прошлые затраты (*sunk costs*) на электростанцию и ее уникальное оборудование; затраты на береговые сооружения, текущие эксплуатационные и другие расходы. Распределение подобных видов затрат будет влиять на себестоимость электроэнергии, генерируемой в период функционирования ПАТЭС за весь период ее жизненного цикла. Действующие тарифы текущего периода представлены в табл. 1, но эти данные в предстоящие периоды в регионах могут измениться.

Реальная «цена» спроса заказчиков на подобные плавучие электростанции будет определяться более точно по мере получения сведений об эффектах их эксплуатации, в том числе с дополнительной установкой оборудования для опреснения морской воды.

Зарубежные компании из Юго-Восточной Азии, Республики Кабо-Верде (Острова Зеленого Мыса), Индонезии и другие также проявляют интерес к ПАТЭС, снабженным опреснительным оборудованием.

Таблица 1

Текущие данные о региональных тарифах*

Регионы	Тарифы, руб./(МВт · ч)
Чукотка	9166
Якутия	5661
Камчатский край	4939
Сахалинская область	4728
Магаданская область	4221
Приморский край	3610
Амурская область	3141
Хабаровский край	3140
Еврейская АО	3119
В среднем по России	3166

*Источник: Минэнерго. См. также данные о тарифах Дальневосточной энергетики [14].

Соотношение выгоды/затраты используется для анализа и измерений чистой энергетической выгоды (ЧЭВ), т. е. оценки разницы между энергией, затрачиваемой на получение энергоресурса, и приносимого им чистого энергетического выигрыша экономике.

Выгоды и затраты сопоставляются по данным их потоков в единой финансовой таблице, где $1..tn$ — годовые периоды эксплуатации электростанции; Q — генерируемая энергия, кВт/ч, в год; P — цена (тариф) генерируемой энергии, кВт/ч в год; TR — общая выручка в денежном выражении; I — инвестиции в денежном выражении; VC — переменные затраты в денежном выражении; EC — эксплуатационные затраты в денежном выражении; TC — общие (валовые) затраты в денежном выражении (табл. 2). Потребуется использование в расчетах поправочных коэффициентов.

Таблица 2

Оценивание экономических потоков затрат и выгод

Год	Выгоды			Затраты			
	Q	P	TR	I	VC	EC	TC
1
2							
...							
tn							

В заключение следует отметить, что в сферах мировых рынков EnergyNet, MariNet, TechNet достаточно очевидна тенденция экстенсивного освоения водных пространств конкурирующими видами плавучих электростанций, в том числе типа ПАТЭС «Академик Ломоносов».

В настоящее время в системе мировых рынков конкурируют лишь два варианта плавучих электростанций с противоположными факторами экономичности и технологичности. В ряду сопоставляемых показателей для одних регионов более предпочтительны электростанции атомной генерации энергии, теплоты и опреснительных технологий типа ПАТЭС, для других — электростанции ВИЭ-генерации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Россия получит сразу две стартовые площадки для запусков космических аппаратов, обе — в экваториальной части Тихого океана. *KM.ru*. URL: <http://www.km.ru/glavnoe/2006/02/15/kommentarii-dnya/rossiya-poluchit-srazu-dve-startovye-ploshchadki-dlya-zapuskov-k> (дата обращения 21.02.2017).
- [2] Чумаков В. Мы говорим — Арктика, подразумеваем — «Росатом»... *Научная Россия*. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/my-govorim-arktika-podrazumevaem-rosatom> (дата обращения 21.02.2017).
- [3] *План мероприятий («дорожная карта») «Нейронет» Национальной технологической инициативы*. URL: http://www.nti2035.ru/markets/docs/DK_neuronet.pdf (дата обращения 21.02.2017).
- [4] Porter M.E., Kramer M.R. Strategy and society: the link between competitive advantage and corporate social responsibility. *Harvard business review*, 2006, vol. 84, no. 12, pp. 78–92.
- [5] Борзаков Д.В. Создание общей ценности в контексте стратегии корпоративной социальной ответственности. *Вестник Воронежского государственного университета*, 2015, № 1, с. 5–11. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/econ/2015/01/2015-01-01.pdf> (дата обращения 08.08.2017).
- [6] Долан Э.Дж., Линдсей Д.Е. *Рынок. Микроэкономическая модель*. Санкт-Петербург, Автоком, 1992, с. 333.
- [7] Дзагуто В., Дятел Т., Давыдова А. Граждан выводят на солнечную панель. *Коммерсант.ru* URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3224416> (дата обращения 21.02.2017).
- [8] Захаров М.Н., Омельченко И.Н., Саркисов А.С. *Ситуации инженерно-экономического анализа*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, с. 385–425.
- [9] В 2014 году в Певеке начнется строительство береговой части ПАТЭС «Академик Ломоносов». *Seogan*. URL: <https://www.seogan.ru/v-2014-godu-v-peveke-nachnetsya-stroitelstvo-beregovoy-chasti-pates-akademik-lomonosov.html> (дата обращения 03.08.2017).
- [10] Ядерная баржа Стургис — доклад инженерного корпуса армии США. *ИА «Атоминфо»*. URL: www.atominfo.ru/news/air1632.htm (дата обращения 04.08.2017).
- [11] Экспериментальная американская плавучая АЭС направлена на утилизацию. *Российское атомное сообщество*. URL: <http://www.atomic-energy.ru/news/2015/04/21/56413> (дата обращения 15.08.2017).

- [12] Емельяненко А. «Ломоносов» придет и согреет. *Российская газета*. URL: <http://rg.profkiosk.ru/article.aspx?aid=502471> (дата обращения 06.10.2016).
- [13] Кобяков К. Опреснению выбирают инжиниринг. *Страна Росатом*, 2016, № 18. URL: <http://www.strana-rosatom.ru/опреснению-выбирают-инжиниринг/> (дата обращения 05.06.2016).
- [14] Песчинский И. Проекты на Дальнем Востоке должны получать поддержку выборочно, считают потребители энергии. *Ведомости*. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2017/02/02/675838-proekti-dalnevostoke> (дата обращения 03.02.2017).
- [15] Омельченко И.Н., Александров А.А., Бром А.Е., Белова А.Е. Основные направления развития логистики XXI века: ресурсосбережение, энергетика и экология. *Гуманитарный вестник*, 2013, вып. 10. URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/118.html> (дата обращения 14.03.2017).

Статья поступила в редакцию 02.06.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Родионова В.Г. Экономика и технологии плавучих атомных теплоэлектростанций: ПАТЭС «Академик Ломоносов». *Гуманитарный вестник*, 2017, вып. 10. <http://dx.doi.org/10.18698/2306-8477-2017-10-475>

Родионова Валентина Георгиевна окончила экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Канд. экон. наук, доцент кафедры «Экономика и бизнес» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Лауреат премии Правительства Российской Федерации (2002). Автор 12 научных статей и 38 учебно-методических и научных работ: учебных пособий «Макроэкономика» (2013), «Микро- и макроэкономика» (2015), спецкурса «Управление государственной собственностью» (2001). Соавтор учебника «Экономика», издаваемого с 1990 г. по настоящее время кафедрой «Экономика и бизнес» МГТУ им. Н.Э. Баумана, а также учебника «Микроэкономика», издаваемого с 2004 г. по настоящее время Финансовой академией при Правительстве РФ. Область научных интересов — инновации, информационные технологии, общественная значимость космической сферы деятельности, экономика, промышленность и высокие технологии. e-mail: avrogo2@mail.ru

Economics and technology of floating nuclear thermal power plants: FNTPP “Academician Lomonosov”

© V.G. Rodionova

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The article explores new approaches to the assessment of the public significance of the electrical power industry and the manifestations of the trends in the transition from the static to dynamic innovative changes in the infrastructure of the located power plants. The special importance of water spaces as a unique option for locating power plants is noted. A variant of the floating nuclear thermal power plant on the fossil fuel traditional for nuclear power plants is considered. Currently it is the only energy facility of this type, ready for locating and operation in the water area of the Russian Arctic coast, at Chukotka, near the port of Pevek. Economic aspects of choice of power plants of this type are due to the following factors: the special importance of the domestic maritime regions; their natural and climatic conditions, in particular, at the Russian Arctic coast; innovative technologies of Rosenergoatom which are preferable for floating power plants; commercial prospects of their implementation in the domestic and world water markets.

Keywords: *extensiveness, static efficiency, dynamic efficiency, competitive position, energy markets, EnergyNet, maritime space markets, MariNet, floating autonomous power station, electric power generation, heat generation, sea water desalination, tariff, marginal costs, future costs, problem of temporary inconsistencies*

REFERENCES

- [1] Rossiya poluchit srazu dve startovye ploshchadki dlya zapuska kosmicheskikh apparatov, obe – v ekvatorialnoy chasti Tikhogo okeana [Russia will receive two launching sites at once for spacecraft launching, both in the equatorial part of the Pacific Ocean]. *KM.ru*. Available at: <http://www.km.ru/glavnoe/2006/02/15/kommentarii-dnya/rossiya-poluchit-srazu-dve-startovye-ploshchadki-dlya-zapuskov-k> (accessed February 21, 2017).
- [2] Chumakov V. My govorem — Arktika, podrazumevaem — “Rosatom”... [We say the Arctic, we mean — Rosatom...]. *Nauchnaya Rossiya — Scientific Russia*. Available at: <https://scientificrussia.ru/articles/my-govorim-arktika-podrazumevaem-rosatom> (accessed February 21, 2017).
- [3] *Plan meropriyatiy (“dorozhnaya karta”) “Neyronet” natsionalnoy tekhnologicheskoy initsiativy* [Schedule of measures (road map) “Neuronet” of the National Technological Initiative]. Available at: http://www.nti2035.ru/markets/docs/DK_neuronet.pdf (accessed February 21, 2017).
- [4] Porter M.E., Kramer M.R. Strategy and society: the link between competitive advantage and corporate social responsibility. *Harvard business review*, 2006, vol. 84, no. 12, pp. 78–92.
- [5] Borzakov D.V. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta — Proceedings of Voronezh State University*, 2015, no. 1, pp. 5–11. Available at: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/econ/2015/01/2015-01-01.pdf> (accessed August 08, 2017).

- [6] Dolan E.J., Lindsey D.E. *Market: Microeconomic Model*. London, Cengage Learning EMEA Publ., 1991, 538 p. [In Russ.: Dolan E.Dzh., Lindsey D.E. Rynok: mikroekonomicheskaya model. St. Petersburg, Avtokom Publ., 1992, p. 333].
- [7] Dzaguto V., Dyatel T., Davydova A. Grazhdan vyvodyat na solnechnuyu panel' [Citizens are led to the solar panel]. *Kommersant.ru*, February 20, 2017, no. 31, p. 9. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/3224416> (accessed February 21, 2017).
- [8] Zakharov M.N., Omelchenko I.N., Sarkisov A.S. *Situatsii inzhenerno-ekonomicheskogo analiza* [Situations of engineering and economic analysis]. Moscow, BMSTU Publ., 2014, pp. 385–425.
- [9] V 2014 godu v Peveke nachnetsya stroitelstvo beregovoy chasti PATES “Akademik Lomonosov” [In 2014 in Pevek, construction of the coastal part of the floating NPP “Akademik Lomonosov” will be started]. *Seogan*. Available at: <https://www.seogan.ru/v-2014-godu-v-peveke-nachnetsya-stroitelstvo-beregovoiy-chasti-pates-akademik-lomonosov.html> (accessed August 03, 2017).
- [10] Honerlah H., Hearty B. Characterization of the Nuclear Barge Sturgis. *Proceedings of the Conference “Waste management”, February 24–28, 2002, Tucson, AZ* [In Russ.: Yadernaya barzha Sturgis — доклад inzhenernogo korpusa armii SShA. Abridged translation. Atominfo news agency]. Available at: www.atominfo.ru/news/air1632.htm (accessed August 04, 2017).
- [11] Eksperimentalnaya amerikanskaya plavuchaya AES napravlena na utilizatsiyu [The experimental US floating nuclear power plant is aimed at utilization]. *Rossiyskoe atomnoe soobshchestvo — The Russian Atomic Community*. Available at: www.new.atomic-energy.ru/news/2015/04/21/56413 (accessed August 15, 2017).
- [12] Emelyanenko A. *Rossiyskaya gazeta — Russian newspaper*, October 5, 2016, no. 224 (7092), p. 4. Available at: <http://rg.profkiosk.ru/article.aspx?aid=502471> (accessed October 06, 2016).
- [13] Kobayakov K. *Strana Rosatom — Rosatom Country*, May 2016, no. 18 (242), p. 7. Available at: <http://www.strana-rosatom.ru/опреснению-выбирают-инжиниринг/> (accessed June 05, 2016).
- [14] Peschinsky I. *Vedomosti*, February 02, 2017, no. 4254, p. 13. Available at: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2017/02/02/675838-proekti-dalnevostoke> (accessed February 03, 2017).
- [15] Omelchenko I.N., Aleksandrov A.A., Brom A.E., Belova A.E. *Gumanitarnyy vestnik — Humanities Bulletin*, 2013, iss. 10. Available at: www.hmbul.ru/catalog/ecoled/econom/118.html DOI: 10.18698/2306-8477-2013-10-188 (accessed March 14, 2017).

Rodionova V.G., graduated from Lomonosov Moscow State University, Faculty of Economics, Cand. Sc. (Econ.), Associate Professor, Department of Economics and Business, Bauman Moscow State Technical University. Laureate of the Russian Federation Government Prize (2002). The author of 12 research publications and 38 research and educational works: educational manuals “Macroeconomics” (2013), “Microeconomics” (2014); “Micro- and macroeconomics” (2015); special courses “State Property Management” (2001) and “Economics of the High-Tech Industry” (2016); co-author of the textbooks “Economics” published from 1990 to the present, as well as textbooks “Microeconomics”, published since 2004 by the Financial Academy under the Government of the Russian Federation. Scientific interests: innovation, information technology, the social significance of activity in the space sphere, economics, industry and high technologies. e-mail: avrora2@mail.ru