

Риски и возможности применения малых
модульных атомных
реакторов при освоении нефтегазовых
ресурсов Арктики

ГАЙТ МИХАИЛ АДАМОВИЧ

Михаил Адамович Гайт

Риски и возможности

применения малых модульных

атомных реакторов при

освоении нефтегазовых

ресурсов Арктики

*http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=70620571
SelfPub; 2024*

Аннотация

Арктика – ее льды и снега скрывают львиную долю мировых запасов нефти и природного газа, месторождения золота, редких металлов и других полезных ископаемых. Этот суровый регион всегда рассматривался Россией, как один из ключевых стратегических направлений развития. И проблема его энергообеспечения играет в этом вопросе одну из ключевых ролей. Гайт Михаил Адамович – эксперт нефтегазовой отрасли с более чем 20-летним стажем представил свое мнение о том, какие возможности открывают современные ядерные технологии, в частности – малые модульные атомные реакторы в сравнении с существующими здесь десятилетиями крупными АЭС и ТЭС. Каковы перспективы внедрения таких технологий и какие риски

следует учитывать при проектировании и эксплуатации подобных объектов – ответы на эти и другие вопросы в кратком издании книги Гайт Михаила Адамовича.

Михаил Гайт
Риски и возможности
применения малых
модульных атомных
реакторов при
освоении нефтегазовых
ресурсов Арктики

Полаева Гозель Байгельдыевна

кандидат экономических наук, доцент кафедры стратегического управления топливно-энергетическим комплексом, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, gozel_polayeva@mail.ru

Гайт Михаил Адамович

аспирант, факультет международного энергетического бизнеса Рос-сийского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина, mgayt0910@gmail.com

Россия рассматривает Арктику как стратегический регион развития, понимая, что льды и снега арктического региона скрывают до пятой части нефтяных и более половины газовых национальных запасов (6% и 24% от мировых запасов нефти и природного газа соответственно), месторождения золота и серебра, редких металлов (платины, палладия, титана, никеля, цинка, кобальта, свинца, циркония, меди и вольфрама), угля и других полезных ископаемых. Однако сложные климатические условия, отдаленность от крупных промышленных центров, отсутствие развитой транспортной, энергетической и иной инфраструктуры делает освоение Арктики сложной задачей. Энергообеспечение региона играет в вопросе его развития одну из ведущих ролей. Атомная энергетика широко применялась при освоении Арктики еще в период СССР, на современном этапе можно утверждать, что Россия имеет достаточные технологии и опыта для применения малых модульных атомных реакторов, что может существенно облегчить доступ удаленных регионов к теплу и электроэнергии.

Ключевые слова: Арктика, малые модульные атомные реакторы, атомные ледоколы, плавучие атомные станции, нефтегазовые ресурсы

Россия обладает самой большой территорией арктического побережья, с самой длинной арктической береговой ли-

нией, на российской территории Арктики проживает до 40% населения арктической зоны. При этом большая часть арктической территории не имеет доступа к системе централизованного энергоснабжения, используя автономные дизельные и угольные электростанции, а также действующие атомные электростанции (АЭС). Эффективность крупных АЭС остается достаточно высокой, но построены они еще в период СССР, требуют серьезной модернизации и не могут полностью решить проблему энергоснабжения региона.

На территории России в арктической зоне располагается 3 АЭС, 4 энергоблока находятся на Кольском полуострове, срок эксплуатации которых был продлен в результате модернизации до 2041-2044 гг.

В восточной части Арктики располагается Билибинская АЭС, которая должна закрыться к 2025 году, ее заменит первая в мире плавучая АЭС «Академик Ломоносов». В среднесрочном периоде планируется новое строительство плавучих электростанций для удовлетворения нужд удаленных регионов, в том числе на Камчатке, а также запуск первого малого модульного атомного реактора в Усть-Куйге в Якутии [1, 2].

Россия является мировым лидером в атомной энергетике. Помимо действующих строящихся в различных странах мира АЭС по российским проектам, РФ является единственной страной в мире, которая разрабатывает, строит и эксплуатирует атомные ледоколы [3, 4]. Атомные ледоколы

необходимы для реализации российской стратегии по освоению Северного Морского Пути (СМП), они позволяют преодолевать толстые арктические льды, что не под силу обычным ледоколам. Основное преимущество атомных ледоколов заключается в длительном запасе хода без дозаправки (в течение нескольких месяцев). На настоящий момент атомный флот России включает два крупных ледокола «Ямал» и «50 лет Победы», мощностью 50 МВт каждый, а также атомный ледокол «Арктика» мощностью 60 МВт. Также у России имеется несколько кораблей поменьше, мощностью 35 МВт («Таймыр», «Вайгач») и один контейнеровоз «СЕВМОРПУТЬ» мощностью 30 МВт. В процессе разработки находится новый класс атомных ледоколов, чья мощность будет достигать 120 МВт. Ожидалось, что новые корабли класса «Лидер» могут быть спущены на воду в 2027 году, однако скорее всего сроки будут пролонгированы.

Малые модульные реакторы (SMR) обычно классифицируют как ядерные реакторы с выходной мощностью от 10 до 300 МВт. SMR обладают рядом технических особенностей, которые снижают риски строительства и приводят к потенциальному сокращению как затрат на сооружение, так и сроков поставки. Конструкции с выходной мощностью менее 10 МВт – часто для полуавтономной работы – относят к микромодульным реакторам (MMR) [5].

Поданным Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), в настоящее время в мире разрабатывается око-

ло 70 SMR, что на 40% больше, чем в 2018 году. Хотя термин “SMR” был принят во всем мире для обозначения всех конструкций малых реакторов, между основными типами разрабатываемых SMR сохраняются существенные различия [5, 6].

Например, в конструкциях SMR используются различные охлаждающие жидкости и виды топлива, они имеют разные

уровни технологической готовности (TRLs) и уровни готовности к лицензированию (LRLs).

Установки SMR тоже отличаются, так как могут использоваться различные конфигурации, начиная от одноблочных установок и многомодульных установок до мобильных энергоустановок, таких как плавучие (т.е. монтируемые на барже) установки. Степень модульности также варьируется в зависимости от конструкции.

Наиболее практичные концепции SMR представляют собой эволюционные варианты реакторов на легкой воде поколения II поколения III/III+ (LWR-SMRS), работающих по всему миру, базирующихся на многолетний опыт эксплуатации и регулирования [7].

Подобные варианты составляют приблизительно 50% разрабатываемых проектов SMR. Остальные SMR соответствуют реакторам IV поколения (Gen IV SMR), которые ис-

пользуют альтернативные охлаждающие жидкости (например, жидкий металл, газ или расплавленные соли), усовершенствованное топливо и инновационные конфигурации систем. Хотя проекты, основанные на поколении IV, не имеют такого же уровня опыта в эксплуатации и регулировании, как у LWR, и в некоторых областях для них все еще необходимы дополнительные исследования, они используют накопленный опыт предыдущих поколений реакторов [5-7].

Главное преимущество SMR заключается в его стоимости и гибких возможностях размещения. Недостатком технологии SMR является недостаточная массовость применения. Для более активного и массового внедрения проекты SMR должны демонстрировать ускоренные кривые обучения за счет более высокой степени модульности, упрощения и стандартизации по сравнению с более крупными ядерными реакторами. Заводское изготовление также обеспечивает среду усиленного контроля качества, которая может снизить риски при строительстве, способствовать обучению и обеспечить внедрение новых технологий производства.

В то же время меньший размер и прогнозируемо более короткие сроки поставки могут серьезным образом снизить первоначальные потребности в инвестициях для SMR по сравнению с более крупными реакторами. SMR могут быть построены в заводских условиях и доставлены на место установки, что делает их более экономичными в отличие от традиционных реакторов. Результатом является снижение фи-

нансовых рис-ков для потенциальных клиентов инвесторов, что может сделать SMRS более доступным вариантом. Другие аспекты, повышающие привлекательность ценового предложения SMR, связаны с гибкостью SMR проектов, облегчая таким образом доступ к энергии в регионах и секторах, где использование крупных атомных электростанций ограничено или затруднено, что особенно актуально при освоении удаленных регионов России, в том числе арктической зоны.

Плавающие атомные электростанции. В ранних стратегиях Росатома [1, 3] было запланировано строительство около восьми плавучих АЭС (ПАТЭС) к 2015 году мощностью около 35 МВт с использованием ядерного реактора KLT-40S (Рисунок 1).

Первая из них должна была быть построена и затем задействована в Северодвинске с планируемым завершением в 2010 году, но планы серьезным образом изменились. Решение о создании серии реакторов планировалось принять в 2014 году, когда ожидалось, что первый из них будет близок к вводу в эксплуатацию. Росэнергоатом подписал соглашение с ОАО «Кировский завод» о строительстве дополнительных энергоблоков, и предполагалось, что дочернее предприятие «Киров Энергомаш» будет основным неядерным подрядчиком по этим работам.

Рисунок 1 – Территории потенциального размещения пла-

Первый проект ПАТЭС «Академик Ломоносов» был за-ложен еще в 2007 году, однако в 2008 году Росатом пере-дал кон-тракт на строительство платформы верфи «Балтий-ский за-вод» и проект стартовал заново. Верфь уже имела опыт встро-ительстве атомных ледоколов и начала закладку ново-го про-екта киля корабля в 2009 году. Стоимость проекта оценили в 9,98 млрд рублей. Корпус был спущен на воду в 2009 году, в 2013 году к нему были добавлены два реактора KLT-40S.

ПАТЭС «Академик Ломоносов» оснащена KLT-40S – это версия ледокольного реактора для плавучих атомных элект-ро-станций, который работает на низкообогащенном уране (<20%) и, следовательно, имеет большую активную зону и бо-лее короткий интервал дозаправки: 3-4,5 года. Срок экс-плуа-тации составляет 40 лет.

Первоначально предполагалось использование данной плавучей АЭС в обеспечении военно-морской базы на Кам-чатке, однако за время строительства планы размеще-ния ПАТЭС изменились, дополнительной проблемой ста-ла непла-тежеспособность верфи в 2011 году. Какое-то вре-мя процесс строительства проекта остановился из-за от-сутствия финан-сирования (выделенные на строительство средства исчезли). Проект продолжил свое существование после переподписа-ния контракта на строительство с ком-

паний-наследником предприятия. Стоимость завершения строительства ПАТЭС тогда оценивалась в 7,631 млрд рублей (248 млн долларов).

В 2015 году Росатом заключил соглашение с Чукотским автономным округом о развитии энергетического кластера, в рамках которого предполагалось размещение ПАТЭС в Пе-веке возле Чаун-Билибинского энергоузла. Певек на полуострове Чукотка в Чаунском районе – как место размещения ПАТЭС «Академик Ломоносов» – изначально рассматривался как потенциальное место для размещения второй плавучей АЭС, с целью замещения Билибинской АЭС-СиТЭС. Однако после 2012 года план был скорректирован. Береговые сооружения для интеграции плавучей АЭС были построены в 2016-2017 гг.

Первые испытания были произведены в 2016 году, а в 2018 году судно совершило свое первое плавание, произвело загрузку топлива, в коммерческую эксплуатацию судно вступило только в 2020 году.

ПАТЭС была подключена в 2020 году к региональной сети тепло- и водоснабжения. полностью наладить производство и технологическое теплоснабжение удалось к 2021 году.

Столь детальное рассмотрение процесса сооружения первой ПАТЭС необходимо для понимания рисков строительства столь технологически сложных и финансово затратных проектов.

Общие сметные затраты увеличились до 37 миллиардов рублей (740 миллионов долларов), Правительство выделило 5 миллиардов рублей в течение 2016-2020 гг. Сама пилотная ПАТЭС обходится "Росэнергоатому" в 21,5 миллиарда рублей, ожидается, что стоимость второй ПАТЭС составит около 18 миллиардов рублей [8]. Для оценки эффективности столь значительных финансовых вложений стоит отметить, что ПАТЭС «Академик Ломоносов» с момента включения в сеть до декабря 2023 г. выдала в изолированную сеть Чаун-Билибинского энергоузла порядка 722 млн кВт · ч электроэнергии, что достаточно для энергоснабжения Чукотки в течение года [9].

Росатом разработал целую группу проектов для Якутии [3]. Изначально планировалась дорожная карта размещения ПАТЭС, но она так и не увидела свет. Велись переговоры с правительством республики о постройке плавучих электро-станций с реактором АВВ-6 меньшего размера. Предполагалось, что данные мобильные АЭС будут использоваться для обеспечения энергией разработки месторождений Газпрома на шельфе, Кольском полуострове и полуострове Ямал. Предполагается, что использование ПАТЭС позволит существенно сократить затраты на обеспечение закупок и поставок альтернативных энергоресурсов.

В 2017 году Росатом представил проект строительства

ПАТЭС второго поколения, которые будут использовать модифицированные версии реакторов новейших ледоколов. Также проект сменил свое название на оптимизированный плавучий энергоблок. Новые реакторы обладают большей мощностью - около 50 МВт, они легче и обеспечивают значительно большую автономность работы платформ, требуя дозаправки только раз в 10 лет. Ориентировочные сроки эксплуатации нового поколения плавучих АЭС должны составить от 40 до 60 лет.

В сентябре 2021 года дочернее предприятие Росатома ФГУП "Атомфлот" и дочернее предприятие KAZ Minerals ООО "ГДК Баимская" подписали соглашение на поставку электро-энергии от четырех плавучих платформ мощностью 106 МВт. Росатом заявил о планах по строительству и размещению 3 таких плавучих энергоблоков в районе мыса Наглойнин, для обеспечения энергией расположенных неподалёку проектов добычи меди уже с 2028 года. Росатом должен будет вложить в этот проект около 150 млрд рублей, а ожидаемая итоговая стоимость электроэнергии должна будет составить около 6,45 рублей за кВтч (¢8 / кВтч).

В сентябре 2021 года "Росатом" заключил контракт с компанией Wison (Наньтун) на сумму 226 миллионов долларов. Heavy Industries в Китае закупит первые два корпуса барж грузоподъемностью 19 100 тонн, которые будут поставлены в 2024 году, на эти корабли должны будут установлены российские реакторы.

С 2014 года Росатом сотрудничает с Китайским управлением по атомной энергии для строительства схожих установок у побережья Китая. Для строительства китайских платформ также будут использованы российские реакторы, скорее всего речь идет о реакторах KLT-40S. За почти десятилетнюю историю соглашения не привело к существенным результатам и возможно будет заморожено.

АО «НИКИЭТ» – один из крупнейших в России ядерных конструкторских и научно-исследовательских центров, специализирующихся на реакторных технологиях. [10] Разработанный центром небольшой российский интегральный PWR ABV-6M имеет тепловую мощность 16-45 МВт. Проект, известный как Волноломская ПАТЭС, состоит из 2х реакторов (всего 12 МВт), установленных на 97-метровой барже, водоизмещением 8700 тонн, плюс вторая баржа для обратного осмотического опреснения (более 40 000 м³ питьевой воды в день).

Помимо ПАТЭС, НИКИЭТ разрабатывает проект подводной электростанции, которая будет располагаться на морском дне и обеспечивать электроэнергией разработку месторождений нефти и газа в Арктике. НИКИЭТ предложил использовать ее для реализации проекта Павловского свинцово-цинкового рудника стоимостью 100 млрд рублей на севере Новой Земли.

Особый интерес представляет проект атомной станции ма-

лой мощности (АСММ), разрабатываемый Центром [10]. НИ-КИЭТ заключил договор с Госкорпорацией «Росатом» на разработку технического проекта реакторной установки ШЕЛЬФ-М для создания обоснования безопасности АСММ. Тепловая мощность реактора ~ 35 МВт, что позволит обеспечить генерацию до 10 МВт электрической энергии. Срок службы станции – 60 лет, на одной загрузке топлива реактор работает около восьми лет. По условиям контракта институт должен выполнить поставленную задачу до конца 2024 года. Создание пилотной АСММ на базе ШЕЛЬФ-М является частью федерального проекта «Новая атомная энергетика, в том числе малые реакторы для удаленных территорий» (в составе Комплексной программы «Развитие техники, технологии и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации»). Пилотную АСММ на базе реакторной установки ШЕЛЬФ-М планируется ввести в промышленную эксплуатацию в 2030 году [10].

Для наземных установок малой мощности Государственный специализированный проектный институт разработал проект одноблочной установки РИТМ-200Н в сентябре 2018 года. Мощность станции составляет 190 МВт (55 МВтэ), топливный цикл составляет 5-6 лет, а срок службы – 60 лет. Размеры защитной оболочки реактора составляют 6 x 6 x 15,5 м. Росатом подписал соглашение о поставках электроэнергии и соглашение о разработке первого наземного

малогабаритного модульного реактора в Усть-Куйге с правительством Республики Саха (Якутия) (2020-2021 гг.). Ростехнадзор выдал лицензию на РИТМ-200Н в августе 2021 года. РИТМ-200Н должен быть пущен в эксплуатацию в 2028 году.

[2] После ввода в действие реактор заменит угольные и дизельные мощности в Усть-Янском районе, а также обеспечит проект золоторудного рудника Кючус в Верхоянском районе. Ожидается, что стоимость электроэнергии снизится вдвое.

Говоря о перспективах развития ядерных технологий, нужно также отметить, что в рамках своего стремления к лидерству на мировом ядерном рынке, Росатом сформировал группу экспертов-консультантов по опреснению воды в рамках стратегии продажи своих технологий термического опреснения. Компания нацелена на регионы мира, где наблюдается дефицит пресной воды. Росатом планирует экспортировать комбинированные энергетические установки и установки для опреснения воды, при этом в качестве потенциальных покупателей упоминаются Китай, Индонезия, Малайзия, Алжир, Кабо-Верде и Аргентина, хотя Россия, вероятно, сохранит за собой право собственности на станцию с операционной ответственностью и просто продаст продукцию. Росатом – одна из немногих компаний на глобальном ядерном рынке, располагающая компетенциями во всех сегментах ядерного топливного цикла, от добычи урана до вывода из эксплуатации ядерных объектов, помимо этого в последние годы взят курс на диверсификацию бизнеса, выпуск

новой, неядерной продукции [3].

Резюмируя, северные и отдаленные регионы занимают более 50% территории России и являются территорией проживания для почти 20 миллионов человек. В арктической зоне обнаружены и разрабатываются богатейшие запасы полезных ископаемых, для освоения которых необходимо надежное и бесперебойное энергообеспечение. Современные ядерные технологии могут решить проблему децентрализованного

энергоснабжения Арктики. Один из вариантов развития Арктики будущего, это новые ядерные технологии, например, реакторы четвертого поколения и модульные реакторы малой мощности, которые сочетают инновационность, эффективность и высокую степень безопасности.

Возможности модульные реакторы малой мощности связаны с их преимуществами по сравнению с традиционными атомными электростанциями, такие как более низкая стоимость, меньший размер, возможность установки на месте потребления электроэнергии и высокая степень безопасности. Однако при планировании, проектировании и эксплуатации подобных объектов необходимо учитывать рассмотренные в статье риски: более низкая производительность и меньшая степень эффективности установок, проблемы с финансиро-

ва-нием, длительность жизненного цикла проекта от замысла до начала эксплуатации.

Литература

1. Mikhail N. Lysenko, Alexander N. Vylegzhanin, Oran R. Young. Nuclear Safety and Security in the Arctic: Crafting an Effective Regional Governance System.– Электронный ресурс.–<https://arcticreview.no/index.php/arctic/article/view/3820/6434>
2. Росатом утвердил технический проект реакторной установки для наземной АЭС малой мощности. – Электронный ресурс. – https://rosatom.ru/journalist/news/rosatom-utverdil-tekhnicheskiy-proekt-reaktornoy-ustanovki-dlya-nazemnoy-aes-maloy-moshchnosti/?sphrase_id=5074465
3. Официальный сайт Росатома. – Электронный ресурс. - <https://rosatom.ru/index.html>
4. Атомная энергетика в России. – Электронный ресурс. -<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-power.aspx>
5. Малые модульные реакторы: глобальные перспективы. Обзор #2–3_2019. – Электронный ресурс. - https://atomicexpert.com/small_modular_reactors
6. Technology Roadmap for Small Modular Reactor Deployment. – Электронный ресурс. – https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1944_web.pdf
7. Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities. –

Электронный ресурс. – https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2021-03/7560_smr_report.pdf

8. Официальный сайт АО «Концерн Росэнергоатом». -Электронный ресурс. – <https://www.rosenergoatom.ru/index.html>

9. Единственная в мире плавучая АЭС выработала за 4 года свыше 722 мле кВт ч электроэнергии. – Электронный ре-сурс. – <https://atommedia.online/2023/12/19/edinstvennaya-v-mire-plavuchaya-aes-vyra/>

10. Официальный сайт АО «НИКИЭТ». – Электронный ре-сурс. – <https://www.niket.ru/>

Risks and possibilities of using small modular nuclear reactors in the development of Arctic oil and gas resources

Polayeva G.B., Gait M.A.

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

JEL classification: D20, E22, E44, L10, L13, L16, L19, M20, O11, O12, Q10, Q16, R10, R38, R40, Z21, Z32

Russia considers the Arctic as a strategic development region, realizing that the ice and snow of the Arctic region hide up to a fifth of the oil and more than half of the national gas reserves (6% and 24% of the world's oil and natural gas reserves, respectively), deposits of gold and silver, rare metals (platinum, palladium, titanium, nickel,

zinc, cobalt, lead, zirconium, copper and tungsten), coal and other minerals. However, difficult climatic conditions, remoteness from large industrial centers, lack of developed transport, energy and other infrastructure make the development of the Arctic a difficult task. The energy supply of the region plays one of the leading roles in the issue of its development. Nuclear energy was widely used in the development of the Arctic back in the USSR period, at the present stage it can be argued that Russia has enough technology and experience to use small modular nuclear reactors, which can significantly facilitate access to heat and electricity in remote regions.

Keywords: Arctic, small modular nuclear reactors, nuclear icebreakers, floating nuclear power plants, oil and gas resources

References

1. Mikhail N. Lysenko, Alexander N. Vylegzhanin, Oran R. Young. Nuclear Safety and Security in the Arctic: Crafting an Effective Regional Governance System.– An electronic resource.–<https://arcticreview.no/index.php/arctic/article/view/3820/6434>
2. Rosatom has approved the technical design of a reactor plant for a low-power ground-based nuclear power plant. – An electronic resource. –https://rosatom.ru/journalist/news/rosatom-utverdil-tehnicheskiiy-proekt-reaktornoy-ustanovki-dlya-nazemnoy-aes-maloy-moshchnosti/?sphrase_id=5074465
3. The official website of Rosatom. – An electronic resource.

-<https://rosatom.ru/index.html>

4. Nuclear energy in Russia. – An electronic resource. – <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-power.aspx>

5. Small modular reactors: global perspectives. Review #2-3_2019. – An electronic resource. – https://atomicexpert.com/small_modular_reactors

6. Technology Roadmap for Small Modular Reactor Deployment. – Electronic resource. – https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1944_web.pdf

7. Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities. – Electronic resource. -https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2021-03/7560_smr_report.pdf

8. The official website of Rosenergoatom Concern JSC. – An electronic resource. -<https://www.rosenergoatom.ru/index.html>

9. The world's only floating nuclear power plant has generated over 722 mle kWh of electricity in 4 years. – An electronic resource. -<https://atommedia.online/2023/12/19/edinstvennaya-v-mire-plavuchaya-aes-vyra/>

10. The official website of JSC NIKIET. – An electronic resource. -<https://www.nikiet.ru/>