

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В АВСТРАЛИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ ОКЕАНА

Алия Тахировна ШАРЫГИНА¹

¹Начальник Управления реконструкции и технологического присоединения ООО
ГАЗПРОМ МЕЖРЕГИОНГАЗ

Аннотация

Австралия обладает значительными ресурсами энергии волн и приливов океана, и развитие в стране зарождающейся отрасли морской энергетики открывает возможности для создания «голубой экономики», одновременно активно способствуя принятию мер по снижению выбросов углерода. В настоящее время развитию отрасли в Австралии (как и во всём мире) препятствуют многие междисциплинарные проблемы, в том числе: недостаточно развитые технологии, потенциал воздействия на окружающую среду, невнятная политика и регулирование, скромный уровень инвестиций.

В настоящей статье обоснована необходимость усиления координации в секторе, а также необходимость создания представляющего органа для руководства необходимыми инициативами по поддержке роста и управления новой отраслью как одного из элементов бурно развивающейся «голубой экономики».

Ключевые слова

Австралия, инновации, международная конкурентоспособность, природные ресурсы, возобновляемая энергия океана, «голубая экономика».

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE OCEAN ENERGY IN AUSTRALIA

Aliya T. SHARYGINA¹

¹Head of Reconstruction and Technological Interconnection Department Gazprom
Mezhregiongaz LLC

Abstract

Australia has significant ocean wave and tidal energy resources and the development of the country's nascent marine energy industry presents opportunities for the blue economy, while actively contributing to carbon abatement measures. On the north coast of Western Australia the tidal ranges are significant on a global scale and some geographic features of the continent have local tidal resonances. The East Australian Current, one of the world's major westerly boundary currents, runs along the east coast of Australia, offering potential for ocean current energy. Sea water temperatures in tropical north-eastern Australia could also allow ocean thermal energy to

be converted. At present the industry in Australia (as elsewhere in the world) is hampered by many cross-cutting issues including: underdeveloped technology, potential for environmental impact, unclear policy and regulation and modest levels of investment. Despite the challenges, technology and project developers, researchers, academics and political stakeholders are consolidating their efforts to explore possible ways of developing the new industry. A key element in this effort is increased coordination within the sector, as well as the need for a representative body to lead the necessary initiatives to support the growth and management of the new industry as an element of the booming «blue economy».

Keywords

Australia, innovation, international competitiveness, natural resources, ocean renewable energy, «blue economy».

Введение. Австралия обладает значительными ресурсами энергии волн и приливов океана и развитие в стране зарождающейся отрасли морской энергетики открывает возможности для создания «голубой экономики», одновременно активно способствуя принятию мер по снижению выбросов углерода. На северном побережье Западной Австралии приливно-отливные диапазоны значительны в глобальном масштабе, а некоторые географические особенности континента имеют локальные приливные резонансы. Восточно-Австралийское течение, одно из основных западных пограничных течений в мире, проходит вдоль восточного побережья Австралии, предлагая потенциал использования энергии океанских течений. Температура морской воды на тропическом северо-востоке Австралии также может позволить преобразование тепловой энергии океана.

В настоящее время развитию отрасли в Австралии (как и во всём мире) препятствуют многие междисциплинарные проблемы, в том числе: недостаточно развитые технологии, потенциал воздействия на окружающую среду, невнятная политика и регулирование, скромный уровень инвестиций.

Цель исследования. Несмотря на существующие проблемы, разработчики технологий и проектов, исследователи, учёные и заинтересованные политические силы консолидируют свои усилия по изучению возможных путей развития новой отрасли. Целью исследования является обоснование необходимости усиления координации в секторе, а также необходимости создания представляющего органа для руководства необходимыми инициативами по поддержке роста и управления новой отраслью как одного из элементов бурно развивающейся «голубой экономики».

Основным фактором перехода на возобновляемые источники энергии в Австралии является приверженность Парижскому соглашению 2015 года. Для того чтобы привести национальную политику в области возобновляемых источников энергии в соответствие с сокращением выбросов, необходимых для выполнения международных обязательств, Управление по изменению климата Австралии предложило увеличить целевой показатель возобновляемой энергии до 65% к 2030 году. Это потребует быстрого и крупномасштабного перехода на альтернативные энергосистемы, не содержащие выбросов.

В настоящее время 72% парка угольных электростанций Австралии (которые обеспечивают 50% потребностей страны в электроэнергии) выработали свой первоначальный проектный срок службы, поэтому в текущей ситуации на передний план промышленной повестки выдвигается поиск возможности установки новых объектов для замены устаревших генераторов. В фокусе внимания правительства страны находится и тема электрификации транспортных систем Австралии, особенно легковых автомобилей, на долю которых приходится 10% выбросов, что также способствует увеличению спроса на электроэнергию.

Указанные факторы позволили правительству Австралии сформировать приоритеты, одним из которых является реализация «Национальной энергетической гарантии» для решения проблем доступности и надёжности электроэнергии, а также снижения выбросов. Поскольку на производство электроэнергии приходится 33% национального кадастра парниковых газов, планируется, что декарбонизация австралийских электроэнергетических систем будет способствовать значительному сокращению выбросов. Однако для достижения этой цели потребуется около 18 тыс. ТВт·ч ежегодного производства возобновляемой энергии в дополнение к существующим в настоящее время, для чего необходимо будет установить около 6 тыс. МВт мощности [Clean Energy Council, 2016].

В рамках реализации вышеуказанных задач в период с 2016 по 2019 год национальный бизнес значительно увеличил инвестиции в крупномасштабные проекты в области возобновляемых источников энергии. Эти инвестиции были поддержаны значительным увеличением оптовых цен на Национальном рынке электроэнергии, который начался в начале 2010-х годов, когда наблюдался переизбыток генерирующих мощностей, что помогало удерживать цены на низком уровне. С тех пор баланс спроса и предложения значительно сузился, поскольку ряд электростанций (в основном работающих на угле) был выведен из эксплуатации. Закрытие трёх

заводов, работающих на буром угле, в Южной Австралии (2016 г.) и в Виктории (2017 г.), оказало особенно заметное влияние на предложение: в результате закрытия этих предприятий было сокращено более 2 ГВт относительно дешёвой генерирующей мощности. Примерно в то же время цена на газ и, в меньшей степени, на чёрный уголь сильно выросла, что привело к увеличению стоимости производства электроэнергии с использованием этих ресурсов. Как следствие, это способствовало увеличению средней цены на оптовую электроэнергию.

Федеральное правительство поддерживает волну инвестиций в производство приливной электроэнергии, поскольку полагает, что морская энергия станет следующим крупным достижением в области возобновляемых источников энергии. Политика федерального правительства и правительства штатов нацелена на выработку не менее 40% возобновляемой энергии к 2030 году, что также стимулирует инвестиции в крупномасштабное производство электроэнергии из возобновляемых источников. Одним из ключевых документов этой политики является Целевая задача по возобновляемым источникам энергии, которая нацелена на 33 тыс. ГВт-ч дополнительной крупномасштабной выработки электроэнергии из возобновляемых источников к 2020 году. Финансовая корпорация чистой энергии и Австралийское агентство по возобновляемым источникам энергии также сыграли важную роль в оказании помощи разработчикам путём прямого финансирования проектов. С момента своего создания эти агентства напрямую инвестировали около AU\$8,5 млрд в проекты, связанные с чистой энергией.

Одним из перспективных направлений развития чистой энергетики может стать энергия волн, что обеспечит до 10% потребностей Австралии в возобновляемой энергии к 2030 году [S.Behrens, D.Griffin, 2012], а рост отраслей, охватывающих традиционные морские секторы (рыболовство, прибрежный туризм, добыча нефти, газа и минералов, судостроение, судоходство и портовая деятельность) и новых развивающихся отраслей (аквакультура, биопродукты, голубой углерод и технологии возобновляемой энергии океана), возможно, в ближайшее десятилетие будет примерно в три раза превышать прогнозируемые темпы роста ВВП Австралии [National Marine Science Committee, 2013].

В то время как Северное море является мировым лидером по производству энергии на шельфе, воды Австралии, которые можно сравнить с шумным морским коридором, связывающим Великобританию и Европу, представляют собой богатый источник потенциальной деятельности

возобновляемой энергии. Что особенно важно (и в отличие от многих других юрисдикций), прибрежные зоны первичной застройки в Австралии обычно расположены на территории, знакомой с устоявшейся нефтегазовой отраслью, и находятся в пределах досягаемости от инфраструктуры связи, населённых пунктов спроса на электроэнергию и необходимого финансового и человеческого капитала. Поэтому австралийские разработки в области морской ветроэнергетики предоставляют Австралии возможность стать глобальной морской сверхдержавой в области ветроэнергетики, особенно если такие проекты лежат в основе австралийской «зелёной индустрии» экспорта водорода.

Представленная в настоящей статье оценка ресурсов волновой энергии Австралии основана на данных о волнах, полученных Бюро метеорологии с интервалом в 6 часов в течение 11 лет из 24 090 точек, равномерно распределённых по всему континентальному шельфу Австралии. Под шельфом в данном случае понимается глубина воды менее 300 метров. [Hasselmann et al., 1988]. Северный австралийский шельф (выше 23° южной широты) характеризуется относительно низкой плотностью энергии волн, как правило, менее 2,5 кДж/м². Шельф южной части Австралии, напротив, характеризуется плотностью энергии более 2,5 кДж/м², причём на больших участках шельфа она вдвое выше (например, в западной и южной Тасмании). На большей части южного побережья Австралии практически всё время наблюдаются волны значительной высоты (более 1 метра). Общая энергия волн на всем австралийском континентальном шельфе в любой момент времени в среднем составляет около 3,47 ПДж. Штаты с наилучшими ресурсами волновой энергии – это Западная Австралия, Южная Австралия, Виктория и Тасмания. Тасмания особенно хорошо обеспечена ресурсами волновой энергии. У её побережья есть места, где средняя мощность волн на глубине, равной 50 метрам, достигает почти 35 кВт/м, обеспечивая общую энергию волн 1100 ГДж/м в год.

Власти Австралии рассматривают морской сектор в качестве одного из драйверов роста, о чём свидетельствует заявление Федерального правительства от 23 апреля 2021 года, согласно которому предусматривается выделение дополнительного финансирования в размере AU\$100 млн. Инвестиционный пакет будет нацелен на экосистемы «голубого углерода», в которых водоросли и мангровые заросли играют ключевую роль в выводе углерода из атмосферы. Пакет также будет поддерживать австралийские морские парки, расширять охраняемые районы коренных народов и защищать морскую жизнь [The Hon Scott Morrison MP, 2021].

Предусматривается, что такая финансовая поддержка создаст более 400 тыс. рабочих мест, обеспечит действия по улучшению экологических результатов для видов и экосистем, а также обеспечит чёткий путь для работы со всеми секторами для реализации океанского потенциала Австралии. Эти инвестиции дополняют более AU\$1,1 млрд, которые будут инвестированы правительством в энергетические технологии с низким уровнем выбросов, такие как водород и улавливание и хранение углерода, и в дополнение к AU\$18 млрд инвестиций, которые правительство выделяет в рамках Дорожной карты инвестиций в технологии на следующие 10 лет, чтобы привлечь к 2030 году не менее AU\$70 млрд новых инвестиций в технологии с низким уровнем выбросов. С учетом того, что Австралия, наряду со всеми другими странами, стремится к декарбонизации своих источников энергии, очевидно, что и дальше будет происходить дальнейшее развитие её огромных морских возобновляемых источников энергии.

По сравнению с более известными видами возобновляемой энергии, такими как энергия ветра и солнца, морская возобновляемая энергия демонстрирует большое разнообразие и сложность. Не существует чёткого, подробного описания принципов работы морских технологий возобновляемой энергии, которое было бы понятно неспециалистам. Например, нередко можно услышать, как большинство людей путают энергию волн и приливов, несмотря на то что принципы их работы значительно различаются, а географические и экономические возможности скорее дополняют друг друга, чем конкурируют.

Австралия – морская страна, которая прилагает значительные усилия как на национальном, так и на международном уровне для содействия развитию «голубой экономики», и возобновляемая энергия океана имеет существенный потенциал и способна внести важный вклад в формирующуюся структуру возобновляемой энергетики страны. Австралийские ресурсы волновой энергии, возможно, самые большие среди всех стран, а проведённые исследования показывают, что значительная часть глобальной диссипации приливной энергии происходит на шельфе северо-западной Австралии, что отражает размер ресурсов в этом регионе [G.Egbert, R.Ray, 2000].

Береговая линия Австралии протяжённостью 34 тыс. километров простирается от тропического климата на севере через субтропический и среднеширотный климат на юге. На побережье к северу от 20° южной широты с октября по март длится сезон влажных муссонов с ветрами

преимущественно с северо-запада, а с апреля по сентябрь – сухой сезон, когда преобладают юго-восточные пассаты. Времена года на юге континента зависят от движения субтропического хребта и зоны высокого атмосферного давления, которая разделяет восточные пассаты на севере и западные ветры средних широт на юге. Субтропический хребет достигает своего максимального расстояния на север примерно на 30° южной широты в летние месяцы (с декабря по февраль) и примерно на 40° южной широты в зимние месяцы (с июня по август). К югу от субтропического хребта среднеширотные системы низкого давления и связанные с ними фронты приносят в регион мощные западные и юго-западные ветры и связанный с ними волновой климат.

Из-за засушливого внутреннего климата Австралии около 85% населения живёт на побережье или вблизи него [Australian Bureau of Statistics, 2021], а большая его часть проживает вдоль восточного и юго-восточного побережья от Квинсленда до Южной Австралии, включая Тасманию. Поскольку большинство австралийцев живут в пределах 50 километров от побережья, возобновляемая энергия океана предлагает надёжное и стабильное снабжение энергией вблизи спроса. Кроме того, она предлагает средства производства электроэнергии для отдалённых островов и других удалённых прибрежных сообществ, которые могут оказаться экономически эффективными по сравнению с нынешней зависимостью от дизельного топлива.

Широкий спектр вариантов открывает дополнительные возможности для страны стать испытательным полигоном для разработки технологий возобновляемой энергии океана. Это может дать экономические преимущества, помимо удовлетворения местных потребностей в электроэнергии. Ряд исследований по производству электроэнергии для островов Тихого океана [C.Bosserelle, S.Reddy, 2016] показывает, что, с учётом постоянства ресурсов, затраты на производство энергии с помощью волн находятся на одном уровне с другими возобновляемыми источниками энергии, такими как солнце и ветер.

Северо-западный шельф Австралии является самым большим в стране с максимальным приливным диапазоном до 11,8 метров в Кинг-Саунд. Большой приливный диапазон около 5 метров также наблюдается на побережье Квинсленда между 20° и 24° южной широты. На восточном побережье Австралии находится крупное, направленное на юг Восточно-Австралийское течение, которое является западной частью циркуляции тропического гира южной части Тихого океана. Подавляющая часть этого

ресурса доступна южному прибрежному региону: 1455 ТВт-ч/год оценивается в контуре глубиной 25 метра от 29° южной широты на побережье Западной Австралии до 148° восточной долготы на южной оконечности Тасмании.

На характер морских энергетических ресурсов в данном месте влияют такие характеристики, как ширина континентального шельфа, батиметрическая глубина и ориентация береговой линии в зависимости от преобладающих погодных условий. Например, большие амплитуды приливов совпадают с относительно широкими и мелководными районами континентального шельфа, где трение дна усиливает максимальный уровень воды. Энергия приливов предсказуема на очень длительных временных интервалах и совершенно не коррелирует с ветром (имеет лишь 1/3 часть изменчивости, наблюдаемой в ветровой энергетике), поэтому может быть спрогнозирована в три раза дальше, чем ветер [S.Behrens, D.Griffin, 2012]. Кроме того, она не ограничена по времени суток, как солнечная фотоэлектрическая энергия. В результате возобновляемая энергия океана имеет значительный потенциал для сглаживания поставок в интегрированной, распределённой энергетической сети.

Изменчивость волн является важным фактором для извлечения морской энергии. На изобате 25 метров (глубина, на которой в настоящее время испытываются многие волновые устройства), большая часть южного, среднеширотного прибрежного региона является благоприятной, поскольку здесь большие волны обычно ненамного превышают высоту волны, при которой принимается большая часть энергии, а эпизоды минимальных высот волн и энергии относительно недолговечны (продолжительность обычно не более 1 дня) и относительно редки (обычно менее 100 дней между событиями). На тропическом севере более низкий доступный волновой ресурс характеризуется большим отношением высоких волн к средней высоте волны из-за появления тропических циклонов [M.Nemer, D. Griffith, 2016].

В целях содействия разработкам технологий возобновляемой энергии океана правительством страны был принят Национальный план морских наук Австралии на 2015–2050 годы [G.Treloar, J.Gunn, T.Moltmann, 2016], который определяет приоритетные научные задачи, уделяя особое внимание сравнительным региональным преимуществам развития национальной «голубой экономики». Это важный аспект в свете стремления Австралии сократить выбросы углерода для обеспечения устойчивого будущего. Океан является суровой средой для размещения инфраструктуры, и понимание

этого факта привело правительство страны к решению создания Национального инновационного фонда, задачей которого, среди прочего, является продвижение и коммерциализация инноваций в сфере возобновляемой энергии океана.

Уместно будет отметить, что в настоящее время на международном уровне создано много испытательных центров для устройств возобновляемой энергии океана (например, Европейский центр морской энергии). Большинство новых технологий развернуто вне видимости в море (под поверхностью или достаточно далеко от берега и с низким профилем, чтобы не быть замеченными случайным наблюдателем), что позволяет не занимать ограниченное пространство суши. Эти технологии предоставляют австралийским разработчикам возможность испытать свои системы в условиях имеющегося инструментария и мониторинга. Например, совместный проект компании Carnegie Clean Energy Ltd. и Университета Западной Австралии по использованию энергии волн базируется в Олбани, финансируется правительством штата Западная Австралия и направлен на создание Центра исследований волновой энергии (ЦИВЭ) в качестве стимула для регионального развития. При создании ЦИВЭ во внимание принималось несколько аргументов: поддержка развития местных отраслей, связанных с цепочкой поставок энергии океана; повышение уровня образования и осведомленности общественности; содействие разработке политических рамок для отрасли. ЦИВЭ приводит оценку участка и подключение кабеля к берегу, осуществляет экологическое согласование, что может составлять значительную часть общей стоимости проектов. Испытательный комплекс эффективно делит эти затраты между проектами и позволяет сконцентрировать инвестиции на разработке и производительности устройств возобновляемой энергии океана, оценить устройства с точки зрения преимуществ, связанных со стабилизацией сети, и снизить потенциальные риски, связанные с проблемами кабельного соединения для отдельных проектов. Такая работа обеспечивает фундамент, установку и решения по доставке энергии для целого ряда технологий и значительно сокращает капиталовложения, необходимые для тестирования различных технологий.

Относительно небольшая численность населения Австралии означает, что компании, занимающиеся разработкой технологий, будут изо всех сил пытаться вырасти до жизнеспособного размера, если будут сосредоточены исключительно на удовлетворении местного спроса на электроэнергию. Защита побережья – это один из аспектов, в котором технологии,

использующие энергию волн, могут быстро достичь экономической жизнеспособности из-за разделения затрат на инфраструктуру. Возобновляемая энергия океана является развивающейся технологией, и в Австралии расположено десятки компаний по разработке соответствующих технологий, начиная от менее зрелых, стремящихся продемонстрировать концептуальные устройства, и заканчивая всемирно признанными компаниями с большим опытом работы. Для развёртывания демонстрационных устройств (чтобы получить максимум информации) необходимы многолетние наборы данных, измеряющие производительность и эффект от внедрения устройств (как правило, от 5 до 25 лет). Обобщая международный опыт в разработках технологий волн и приливов, плавучих турбин, морской ветроэнергетики, а также менее зрелых – технологий океанических течений для использования энергии основных океанических течений, Австралия консолидирует имеющиеся в мире знания для инновационного проектирования. Уже получили своё развитие технологии волновых преобразователей энергии (энергия от движения волн). Каждая такая технология имеет свои условия и может быть развёрнута в различных ситуациях: на береговой линии, в прибрежных водах и в море – на глубине более 100 метров.

Самый простой способ получения электроэнергии – это механическое вращение вала только в одном направлении: как только есть вращающийся вал, с помощью шестерёнок и электрической машины можно генерировать, передавать и продавать электроэнергию. Однако физика волнового движения диктует, что вода по своей природе является возвратно-поступательной: каждый цикл вода меняет свое движение на противоположное, двигаясь в одном направлении на гребне волны и в противоположном направлении на впадине. Импульс, доступный для преобразования в крутящий момент (и, соответственно, полезная мощность), постоянно меняется с положительного на отрицательный, независимо от выбранного направления.

Иначе обстоит дело с водой, выходящей из плотины, которая течёт исключительно вниз по склону, или с ветром, который представляет собой воздух, перетекающий исключительно из атмосферных систем высокого давления в системы низкого давления; в этих случаях движущая жидкость течёт в одном направлении. Если движущая жидкость движется в одном направлении (или даже преимущественно в одном направлении), технология, необходимая для извлечения полезной энергии из этого однонаправленного потока, проста. Всё, что требуется, это одна движущаяся часть – турбина.

Приливные потоки, хотя и имеют обратное направление, являются однонаправленными в течение 6 часов. Это позволяет использовать обычные турбины, если скорость потока достаточно высока; необходимо только поворачивать турбину при переходе от прилива к отливу и обратно. Поскольку на большинстве побережий приливные потоки не настолько быстрые, чтобы вращать турбину экономического масштаба, вариации технологий сосредоточены на различных стратегиях извлечения энергии из низкоскоростных потоков. Наиболее распространённой является турбина с воздуховодом, которая стремится увеличить скорость, проходящую через турбину, с помощью сходящегося воздуховода. В местах, где скорость естественным образом достаточно высока, возможно использование свободно-лопастной турбины.

Проблема заключается в том, что конструкции в океане должны быть спроектированы таким образом, чтобы минимизировать количество подвижных соединений в воде. Трёхсторонний механизм двигателя внутреннего сгорания прекрасно функционирует в герметичном смазанном корпусе, но в океане биообрастание, осадки и солёная вода делают соединения проблематичными. Поэтому в большинстве конструкций используется двунаправленная турбина, установленная в воздухе над толщей воды. Турбина вращается в одном направлении независимо от направления воздушного потока, попеременно подталкиваемого и подтягиваемого поверхностью воды. Двунаправленная турбина может быть с неподвижными лопастями, что неизбежно менее эффективно, чем обычные однонаправленные турбины. В качестве альтернативы это может быть турбина, лопасти которой могут вращаться с изменением угла наклона, что создаёт очень много движущихся частей, хотя и только в воздухе [A.Falcão, 2010].

В 2016 году австралийская компания Atlantis Resources представила конструкцию Aquanator – гусеничное устройство с несколькими лопастями, способное работать независимо от направления потока. Конструкция была подключена к сети и имела мощность 100 кВт. С тех пор компания изготавливала турбины с воздуховодами и свободно-лопастные турбины и начала расширять свою экспортную деятельность в Шотландии, Канаде и Китае. Последние турбины разработаны в сотрудничестве с американской инженерной компанией Lockheed-Martin.

В том же 2016 году на Голд-Косте, штат Квинсленд, прошло испытание конструкции Wave Mill. При разработке этой технологии новаторы ставили задачу избежать необходимости в двунаправленной турбине. Это им удалось

– ряд колеблющегося столба воды располагается под прямым углом к гребням набегающих волн (длина ряда была не меньше длины волны набегающей волны). Когда воздух выталкивается из каждого колеблющегося столба воды, он проходит через односторонний клапан, который представляет собой простую гибкую пластину, шарнирно закреплённую сверху, получившую название «кошачья заслонка»; воздух выходит в общую выхлопную камеру, идущую параллельно ряду. Затем воздух всасывается через односторонний клапан на противоположной стороне каждого колеблющегося столба воды, поступая из общей камеры впускного коллектора. Поскольку ряд колеблющегося столба воды длиннее длины волны, один колеблющийся столб воды всегда максимально вытягивает воздух, а другой максимально всасывает воздух в любой момент времени. Вытяжная и впускная камеры сообщаются через турбину, которая, таким образом, вращается только в одном направлении. Турбина вращается с постоянной скоростью до тех пор, пока входящий поток воздуха устойчив и не изменяется по амплитуде вдоль ряда.

В отличие от этой конструкции, двунаправленные турбины других концепций постоянно ускоряются и замедляются, с максимальной скоростью на гребне и впадине. Хотя односторонние клапаны используются для преобразования колебательного потока в однонаправленный, волновая мельница представляется единственной концепцией, которая может достичь постоянной скорости турбины, по крайней мере, для входящих волн, которые не меняются от волны к волне [Т.Нeath, 2012].

Другая австралийская компания, BioPower Systems, представила конструкцию BioWAVE, которая состоит из трёх цилиндрических камер, расположенных подобно зубьям вилки, которые отходят от стержня, шарнирно закреплённого в нижней части. Конструкция в виде параллельных цилиндров с зазорами между ними, а не сплошных заслонок (как в аналогичных механических маятниках, опробованных в других местах), должна была создать благоприятное взаимодействие между цилиндрами. Считалось, что каждый цилиндр действует как отдельное устройство в массиве; известно, что взаимодействие устройств в массиве может увеличить мощность устройства благодаря радиационному взаимодействию поверхностных волн [К.Вудал, 1977; S.De Chowdhury et al., 2015].

Экспериментальная конструкция СЕТО 5 австралийской компании Carnegie Wave Energy была привязана к морскому дну тросом, а на стыке с морским дном был установлен гидравлический цилиндр. В этой технологии гидравлическая жидкость подаётся под давлением при подъёме буя и через

односторонний клапан поступает в трубопровод на берег. Как и в других вышеупомянутых технологиях с использованием клапанов, энергия теряется при прохождении жидкости через клапаны. Жидкость высокого давления хранится в баках-аккумуляторах, из которых она может быть выпущена для приведения в действие обычного однонаправленного гидравлического генератора, подключённого к сети. В свою очередь жидкость низкого давления, выходящая из генератора, возвращается в морской цилиндр через второй трубопровод и второй односторонний клапан, где она имеет достаточное давление для обеспечения восстанавливающей силы, возвращающей буй к его наименьшему водоизмещению.

Гидравлический цилиндр с бумом, диаметр которого составляет 11 метров (мощность устройства оценивается в 240 кВт) может быть прикреплён к корпусу на морском дне и извлечён из него, что позволяет проводить восстановление и техническое обслуживание. Первоначально планировалось, что гидравлической жидкостью будет морская вода, что позволит альтернативно использовать воду под высоким давлением в опреснительной установке. Однако свойства морской воды оказались неоптимальными для работы гидравлической системы, поэтому опреснение осуществлялось просто путём передачи вырабатываемой электроэнергии на обычную опреснительную установку.

В свою очередь компания Aquagen Technologies, разработала прототип буя диаметром 2,2 метра (мощностью 1,5 кВт). В этой концепции буй являются надводными, а трос соединён через подводный шкив с генератором на платформе над водой. Преимуществом является то, что единственными движущимися частями в воде являются кабель и шкив, без электромеханических систем или управления на борту. Концепция основана на большом количестве небольших устройств для выработки экономически значимой энергии.

Ещё одна австралийская компания, Waverider Energy, представила технологию, в основе которой находится массив буйев (мощностью 500 кВт), удерживаемых на плавучей раме длиной 111 метров, шириной 13 метров и высотой 4 метра. Поскольку имеется жёсткая рама, буй можно удерживать сверху (а не снизу, как в других моделях). В результате того, что рама длиннее, чем более короткие волны, между рамой и буйками происходит относительное движение, которое вращает вал с помощью механизма. Очевидным преимуществом является то, что шарниры, преобразующие возвратно-поступательное движение во вращательное, не находятся в воде, что позволяет создать более сложный и эффективный механизм.

Компания Protean Wave Energy разработала буй, диаметр которого составляет 1,5 метра. Буй соединён с основанием на морском дне несколькими кабелями, которые вращают шкивы внутри поплавка, приводя в действие пневматический компрессор. Между поплавком и основанием расположен противовес, который обеспечивает гравитационную восстанавливающую силу в дополнение к жёсткости сжатого воздуха.

Концепция компании Bombora Wave Power, в отличие от других указанных устройств, предусматривает, что подводная часть конструкции располагается на морском дне и сделана из гибкой мембраны, разделённой на ряд ячеек, которые надуваются сжатым воздухом. Система спроектирована таким образом, чтобы сохранять отрицательную плавучесть и находиться на морском дне. Это даёт преимущество для генератора, который не только вращается в одном направлении, но и вращается с постоянной скоростью, по крайней мере, для входящих волн, которые не меняются от волны к волне. При прохождении гребней волн возникающее высокое давление выталкивает воздух из ячеек через односторонние клапаны в камеру пленума, откуда сжатый воздух приводит в действие обычный однонаправленный генератор. Воздух, выходящий из генератора во вторую камеру пленума, затем всасывается обратно в камеры под волновым желобом.

Результаты проведённых экспериментов сформировали в научной и экспертной среде Австралии понимание, что разнообразное и распределённое энергоснабжение ограничивает колебания в сети, и поэтому задача для океанических возобновляемых источников энергии состоит в том, чтобы океаническая энергия (наравне с объектами для хранения энергии) была конкурентоспособной по стоимости в сравнении с ветровой/солнечной энергией. Поэтому на передний план повестки выдвигается разработка экономически эффективных решений в области хранения, которые наилучшим образом дополняют океанические энергоресурсы, с учётом технологий батарей, пригодности гидроэнергетики (наземной и морской), водорода и технологий сжатого воздуха (традиционных и морских). При таких сценариях, как последовательные холодные безветренные зимние ночи, постоянство энергии океана способно ограничить эти риски. В дополнение к этому интеграция систем хранения энергии в устройства энергии океана может обеспечить постоянное инерционное энергоснабжение, необходимое операторам энергосистем.

На фоне существенного потенциала и достигнутых успехов в секторе существует и ряд узловых проблем. Медленный путь к зрелости технологий возобновляемой энергии океана можно объяснить проблемами, связанными с

извлечением энергии из суровой морской среды. Например, в отличие от некоторых других стран, в Австралии не существует целевой политики или рыночных стимулов для поддержки возобновляемой энергии океана. Австралия обладает мощным потенциалом в области политики морского пространственного планирования, но дело осложняется отсутствием согласованности между различными юрисдикциями, в которых могут происходить соответствующие разработки (например, в водах штатов и Содружества). Кроме того, понимание экологических последствий развёртывания океанической энергетики, включая потенциальное воздействие на морские организмы через шум, механические помехи, влияющие на окружающую волновую среду и последующее движение осадочных пород или разрушение среды обитания, по-прежнему основывается на ограниченных знаниях.

Текущая ситуация порождает целый ряд междисциплинарных задач, которые необходимо решить, чтобы морская энергия реализовала свой потенциал. Существует множество вопросов, решение которых необходимо для создания в Австралии индустрии возобновляемой энергии океана, но преодоление препятствий, с которыми в настоящее время сталкиваются австралийские учёные, новаторы и разработчики технологий, имеет первостепенное значение. К ним относятся: 1) технические вопросы – разработка технологий для выработки оптимальной энергии при минимальных затратах и наименьшем воздействии на окружающую среду; 2) вопросы, связанные с подготовкой рабочей силы, способной решать проблемы развивающегося сектора; 3) вопросы политики и регулирования, которые необходимо решить для эффективного управления многочисленными видами использования морской среды Австралии, одновременно создавая благоприятные условия для развивающейся отрасли; 4) вопросы капиталовложений, с которыми сталкивается отрасль, где неопределённость политики препятствует развитию и внедрению технологий возобновляемой энергии.

Для решения этих вопросов Австралийский морской колледж при Университете Тасмании в партнёрстве с Университетом Квинсленда получил от Австралийского агентства по возобновляемой энергии AU\$2,49 млн в поддержку своего нового проекта «Приливная энергия в Австралии – оценка ресурсов и осуществимости будущего энергетического баланса Австралии» общей стоимостью AU\$5,85 млн. Перед оценкой способности энергии волн вносить вклад в энергетические потребности Австралии будет составлена

карта с беспрецедентной детализацией, которая определит, какие районы лучше всего подходят для ферм приливной энергии, с учётом, сколько энергии находится в воде и доступно в различное время приливного цикла и то, подходят ли характеристики морского дна выбранных участков для установки приливных турбин.

Необходимо отметить ещё одну важную инициативу. В сентябре 2021 года Австралийская океанская энергетическая группа обнародовала планы по созданию первого в мире интегрированного рынка энергии океана, чтобы ускорить распространение энергии волн и приливов в морском районе, а также продемонстрировать способность энергии океана интегрироваться с другими возобновляемыми источниками энергии. В частности, ожидается, что этот новый подход будет катализировать коммерциализацию океанской энергии, изменив динамику от технологического толчка к рыночному, отраслевому кластеру, созданному для облегчения сотрудничества в области океанической энергетики в Австралии. Интегрированный рынок океанской энергии может стать центром, где спрос и предложение будут пересекаться для повышения осведомлённости, позволяя компаниям, работающим с возобновляемыми технологиями, специализированным поставщикам и потенциальным клиентам подключаться и моделировать решения перехода к достижению целевых показателей нулевых выбросов. Это также поможет ускорить разработку интегрированных коммерческих проектов в области океанической энергетики, обеспечивая доступ к рынку для разработки экономически эффективных решений, что в конечном итоге позволит снизить риски инвестиций.

Выводы. Таким образом, можно отметить, что действительно высокая плотность энергии волн и приливных потоков может обеспечить надёжную базовую энергию, преодолевая проблемы прерывистости в сочетании с другими возобновляемыми источниками энергии. Это означает, что энергия океана имеет потенциал для надёжной и эффективной поддержки зависимых от дизельного топлива сообществ «голубой экономики» для таких отраслей, как аквакультура, портовая инфраструктура, морской транспорт, рыболовство и прибрежный мониторинг, а также может обеспечить чистую энергию для декарбонизации добычи газа на шельфе, опреснения воды и производства «зелёного» водорода.

Переход к энергетическим технологиям с низким уровнем выбросов для декарбонизации австралийской электроэнергетической системы является обязательным условием устойчивого будущего. Эта необходимость признана обязательством Австралии по Парижскому соглашению 2015 года

ограничить потепление до уровня ниже 2°C. Технологии возобновляемой энергии океана представляют собой решение, которое может способствовать достижению этой цели. Преимущества морской энергии в комплексе энергетических решений возникают потому, что этот ресурс менее изменчив и более предсказуем, чем альтернативные возобновляемые источники энергии, такие как ветер или солнце. В дополнение к сказанному, энергия океанических волн открывает большие возможности для Австралии, чтобы, используя большие морские владения и значительные энергетические ресурсы океана, внести свой вклад в быстрый рост национальной и мировой «голубой экономики».

Вместе с тем для энергии волн остаётся нерешённым вопрос, может ли она производить рентабельную электроэнергию. Согласно прогнозам, стоимость волновой энергии будет примерно в районе AU\$165–AU\$325 за МВт-ч, если к 2030 году будут достигнуты уровни её развертывания более 2 ГВт.

В этом отношении одним интересным аспектом для Австралии является наличие в этой стране значительных морских нефтегазовых активов и присутствие крупных нефтегазовых компаний. Очевидно, что оффшорная ветроэнергетика станет более заметной для нефтегазовых компаний, особенно с учётом ухода от дорогостоящих затрат на вывод из эксплуатации по мере того, как морские нефтегазовые активы достигают конца жизненного цикла производства и возможности инвестировать в морские ветроэнергетические проекты как части общей стратегии нулевых выбросов. С развитым рынком нефтегазовой добычи, как на суше, так и на море, а также с одним из ведущих мировых ресурсов в целом, Австралия уже является домом для многих крупных игроков в этой сфере.

По мере того как страны всего мира принимают видение экономики с чистым нулем, правительство Австралии сделало важный шаг к развитию ведущей оффшорной энергетической отрасли, представив 2 сентября 2021 года в парламент страны законопроект о морской инфраструктуре электроснабжения. Законопроект направлен на то, чтобы «разблокировать волну новых инвестиций» в сектор морской электроэнергетики Австралии и задействовать то, что было описано как один из «большой тройки» потоков чистой энергии, который будет стимулировать переход к возобновляемым источникам энергии, наряду с солнечными и наземными ветровыми активами [Offshore Electricity Infrastructure Bill 2021].

Список источников

1. Media Release of Prime Minister, Minister for the Environment, Minister for Energy and Emissions Reduction, April 23, 2021.
2. Clean Energy Council, Progress and Status of the Renewable Energy Target, Clean Energy Council Briefing Paper, 2016.
3. **S. Behrens, D. Griffin, J. Hayward, M. Hemer, C. Knight, S. McGarry, P. Osman, J. Wright**, Ocean Renewable Energy: 2015-2050: an analysis of ocean energy in Australia, Отчёт Организации научных и промышленных исследований Австралийского Содружества, 2012, стр. 212.
4. National Marine Science Committee, Marine nation 2025: marine science to support Australia's blue economy, подготовлено научной консультативной группой по политике в области океанов, Национальный комитет по морским наукам, 2013.
5. **Klaus Hasselmann, Eva Bauer and Peter A.E.M. Janssen**, The WAM model – a third generation ocean wave prediction model, Journal of Physical Oceanography, January, 1988.
6. **G.D. Egbert, R.D. Ray**, Significant dissipation of tidal energy in the deep ocean inferred from satellite altimeter data, Nature, Vol.405, 2000, pp. 775–778.
7. Australian Bureau of Statistics, Regional Population Growth 2019–20, 2021.
8. **C. Bosserelle, S. Reddy, J. Kruger**, Cost Analysis of Wave Energy in the Pacific. Waves and Coasts in the Pacific, Secretariat of the Pacific Community, 2016.
9. **M.Hemer, D.Griffith**, Australian ocean power – waves, tides and other current, Ecogeneration, July/August, 2011.
10. **G. Treloar, J. Gunn, T. Moltmann, S. Dittmann, R. Fletcher, P. Hone, K. Lee, L. Minty, S. Minchin, A. Schiller, P. Steinberg, J. Lyons, A. Babanin, P. Doherty, M. England, C. Foster, E. Johnston, A. Steven, L. Llewellyn, J. Oliver, A. Sen Gupta, B. Sloyan, D. Smith, T. Smith, T. Walshe**, The national marine science plan: informing Australia's future ocean policy, Australian Journal of Maritime and Ocean Affairs, Vol.8 (1), 2016, pp. 43–51.
11. **A. Falcão**, Wave energy utilization: A review of the technologies, Renewable & Sustainable Energy Reviews Vol.14, 2010, pp. 899–918.
12. **T. Heath**, A review of oscillating water columns, Philosophical Transactions of the Royal Society A. Mathematical, Physical and Engineering Sciences, Vol. 370, 2012, pp. 235–245.
13. **K. Budal**, Theory for absorption of wave power by a system of interacting bodies, Journal of Ship Research, Vol.21(4), 1977, pp. 248–253.

14. **S. de Chowdhury, J.Nader, A.Sanchez, A.Fleming, B.Winship, S.Illesinghe, A.Toffoli, A.Babanin, I.Penesis, R.Manasseh**, A review of hydrodynamic investigations into arrays of ocean wave energy converters, Cornell University, 2015.

15. **A. Lewis, S.Estefen, J.Huckerby**, Ocean energy, в докладе O.Edenhofer, R.Pichs-Madruga, Y.Sokona, IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge University Press, 2011, pp. 497–533.

16. Prime Minister's Science, Engineering and Innovation Council, Challenges at Energy-water-carbon Intersections, Canberra, Australia, 2010.

17. Offshore Electricity Infrastructure Bill 2021, Parliament of Australia, House of Representatives, September 2, 2021.

References

1. Media Release of Prime Minister, Minister for the Environment, Minister for Energy and Emissions Reduction, April 23, 2021.

2. Clean Energy Council, Progress and Status of the Renewable Energy Target, Clean Energy Council Briefing Paper, 2016

3. **S. Behrens, D. Griffin, J. Hayward, M. Hemer, C. Knight, S. McGarry, P. Osman, J. Wright**, Ocean Renewable Energy: 2015–2050: an analysis of ocean energy in Australia, Otchet Organizacii nauchnyh i promyshlennyh issledovanij Avstralijskogo Sodruzhestva, 2012, p. 212.

4. National Marine Science Committee, Marine nation 2025: marine science to support Australia's blue economy, podgotovleno nauchnoj konsul'tativnoj gruppoj po politike v oblasti okeanov, Nacional'nyj komitet po morskim naukam, 2013.

5. **Klaus Hasselmann, Eva Bauer and Peter A.E.M. Janssen**, The WAM model - a third generation ocean wave prediction model, Journal of Physical Oceanography, January, 1988.

6. **G.D. Egbert, R.D. Ray**, Significant dissipation of tidal energy in the deep ocean inferred from satellite altimeter data, Nature, Vol.405, 2000, pp. 775–778.

7. Australian Bureau of Statistics, Regional Population Growth 2019–20, 2021

8. **C. Bosserelle, S. Reddy, J. Kruger**, Cost Analysis of Wave Energy in the Pacific. Waves and Coasts in the Pacific, Secretariat of the Pacific Community, 2016.

9. **M.Hemer, D.Griffith**, Australian ocean power – waves, tides and other current, Ecogeneration, July/August, 2011.

10. **G. Treloar, J. Gunn, T. Moltmann, S. Dittmann, R. Fletcher, P. Hone, K. Lee, L. Minty, S. Minchin, A. Schiller, P. Steinberg, J. Lyons, A. Babanin, P. Doherty, M. England, C. Foster, E. Johnston, A. Steven, L. Llewellyn, J. Oliver, A. Sen Gupta, B. Sloyan, D. Smith, T. Smith, T. Walshe,** The national marine science plan: informing Australia's future ocean policy, *Australian Journal of Maritime and Ocean Affairs*, Vol.8 (1), 2016, pp. 43–51.
11. **A. Falcão,** Wave energy utilization: A review of the technologies, *Renewable & Sustainable Energy Reviews* Vol.14, 2010, pp. 899–918.
12. **T. Heath,** A review of oscillating water columns, *Philosophical Transactions of the Royal Society A. Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 370, 2012, pp. 235–245.
13. **K. Budal,** Theory for absorption of wave power by a system of interacting bodies, *Journal of Ship Research*, Vol.21(4), 1977, pp. 248–253.
14. **S. de Chowdhury, J.Nader, A.Sanchez, A.Fleming, B.Winship, S.Illesinghe, A.Toffoli, A.Babanin, I.Penesis, R.Manasseh,** A review of hydrodynamic investigations into arrays of ocean wave energy converters, Cornell University, 2015.
15. **A. Lewis, S.Estefen, J.Huckerby,** Ocean energy, в докладе O.Edenhofer, R.Pichs-Madruga, Y.Sokona, IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge University Press, 2011, pp. 497–533.
16. Prime Minister's Science, Engineering and Innovation Council, *Challenges at Energy-water-carbon Intersections*, Canberra, Australia, 2010
17. Offshore Electricity Infrastructure Bill 2021, Parliament of Australia, House of Representatives, September 2, 2021.