

УДК 629.5.0, 629.5.02, 629.563, 621.548

DOI: 10.37890/jwt.vi78.463

Развитие мировых технологий в области опорных конструкций плавучих ветряных электростанций

А.А. Чалкина¹

А.В. Лобанов²

¹ *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», Санкт-Петербург, Россия*

² *ПАО «Газпром», Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Большая часть ветровых ресурсов расположена на таких глубинах, где морские стационарные ветряные турбины нерентабельны или технологически нецелесообразны. На сегодняшний день морские плавучие ветряные турбины (далее – МПВТ) активно совершенствуются, и существует широкий спектр конструкций таких платформ. В данной статье представлен краткий обзор архитектурных решений, используемых при создании МПВТ и описание технических характеристик различных типов плавучих оснований для МПВТ, рассматриваются изменения в функциях и устройствах платформ в зависимости от их предназначения. Кроме того, в работе рассмотрены преимущества и недостатки различных типов и форм корпуса. Как следует из анализа рынка морской ветроэнергетики, плавучие платформы, применяемые в качестве оснований морских ветряных турбин в ближнесрочной перспективе будут всё шире востребованы в большинстве технологически развитых стран для достижения целей «чистого нулевого выброса»¹⁶.

Ключевые слова: морские платформы, морская ветряная турбина, ветроэнергетика, ВИЭ, плавучие электростанции.

The development of global technologies in the field of support structures for floating wind power plants

Anastasia A. Chalkina¹

Aleksey V. Lobanov²

¹ *St. Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia*

² *PJSC Gazprom, Saint Petersburg, Russia*

Abstract. Most of the wind resources are located at depths where offshore stationary wind turbines are unprofitable or technologically impractical. Today, offshore floating wind turbines (hereinafter – OFWT) are actively being improved, and there is a wide range of designs for such platforms. This article provides a brief overview of the architectural solutions used in the creation of OFWT and a description of the technical characteristics of various types of floating bases for OFWT, discusses changes in the functions and devices of platforms depending on their purpose. In addition, the paper considers the advantages and disadvantages of various types and shapes of the housing. As follows from the analysis of the offshore wind energy market, floating platforms used as the bases of offshore wind turbines in the near term will be increasingly in demand in most technologically developed countries to achieve the goals of «net zero emissions»¹⁷.

¹⁶ В соответствии с подходами ООН в области мер по борьбе с изменением климата, чистый нулевой уровень выбросов означает сокращение объема выбросов парниковых газов до уровня, максимально приближенного к нулю (при этом весь остающийся объем выбросов поглощается из атмосферы назад, например, океанами и лесами).

¹⁷ According to the UN's approach to climate action, net zero emissions means reducing greenhouse gas emissions to as close to zero levels as possible (with any remaining emissions absorbed back out of the atmosphere, such as by oceans and forests).

Keywords: offshore platforms, offshore wind turbine, wind energy, renewable energy sources, floating power plants.

Введение

Растущий спрос на энергию во всем мире на фоне борьбы с выбросами вредных веществ в атмосферу, вызванных добычей традиционных ископаемых (нефти и газа), сделал необходимым увеличение использования возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе практически всех стран. Безусловно, «зеленый» рост следует воспринимать не как поворот к нерациональному использованию возобновляемых источников энергии любой ценой, а как инвестиции в политику и технологии, которые превратили бы возобновляемые источники энергии в конкурентоспособные и устойчивые источники.

В рамках данного исследования обобщены данные, опубликованные в различных зарубежных источниках, проведен анализ существующих в настоящее время конструкций МПВТ как в целом, так и детальный обзор верхних строений и опорных оснований различных типов и архитектуры (плавучих и стационарных).

На основе собранных и проанализированных данных авторами сделаны выводы о наиболее перспективных типах опорных частей платформ. В работе также приведены результаты и обоснованы факторы, определяющие основные преимущества наиболее перспективных типов МПВТ - гибридных конструкций (в сравнении с традиционными).

Кроме того, в статье представлен краткий среднесрочный прогноз и определены направления дальнейшего развития МПВТ.

Точкой импульса инициативам по расширению морской ветроэнергетики стал 2022 год. Именно в этот период все больше разработчиков начали широко предлагать свои уникальные проекты, проводить научные исследования в данной области и испытывать новые концепции. Несмотря на то, что наиболее успешные и перспективные проекты морского ветроэнергетического сектора в значительной степени сконцентрированы в акваториях, расположенных вблизи побережья Великобритании, новые проекты набирают обороты по всему миру.

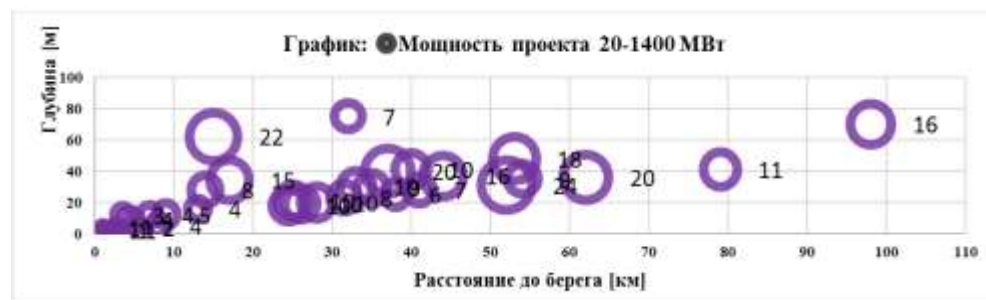


Рис. 1. Развитие количества и мощности МПВТ в зависимости от глубины моря и расстояния от берега [3]

Объем мирового рынка плавучей ветровой энергии оценивается в 1,9 миллиарда долларов США, к 2032 году ожидается, что он достигнет около 65,4 миллиарда долларов США. Анализ показывает, что в ближайшие десять лет, по прогнозам, суммарная мощность морской ветроэнергетики возрастет на более 380 ГВт, при этом МПВТ будут размещаться в 32 регионах. Вместе с тем, высокие затраты, задержки в строительстве и бюрократия являются одними из многих проблем, заставляющих разработчиков морской ветроэнергетики открыто подвергать сомнению жизнеспособность запланированных проектов и достижений поставленных целей [1, 2].

Морская ветровая энергия — это устойчивый возобновляемый источник энергии, который можно получить путем использования силы ветра на море, где она гораздо выше, чем на суше за счет того, что отсутствуют препятствия, что позволяет воздушным массам двигаться с более высокими и устойчивыми скоростями.

В последнее время популярность морской ветроэнергетики возросла. До разработки плавучих конструкций ветряные турбины нельзя было размещать на глубоководных или сложных в геоморфологическом отношении участках морского дна, поскольку они зависели от стационарных конструкций, закрепленных на дне. С появлением плавучих конструкций, которые удерживаются на морском дне с помощью упругих якорных систем, натяжных цепей или стальных тросов, ветряные турбины теперь можно размещать далеко от берега. Развитию плавучих ветровых электростанций (далее – ПВЭС) на глубоководных акваториях способствует ряд факторов: более сильный и устойчивый ветер, меньшее воздействие на окружающую среду, а также достаточно гибкие требования к акустическому шуму.

По сравнению с морскими стационарными и наземными ветряными турбинами общая стоимость МПВТ значительно выше из-за высокой стоимости плавучих опорных конструкций. В разных странах в густонаселенных районах, расположенных вдоль побережья, ПМВТ являются альтернативой береговым ветряным турбинам. Таким образом, многие проблемы, связанные с береговыми ветряными турбинами, такие как визуальные и шумовые отвлекающие факторы, можно избежать, разместив ветряные турбины далеко от берега.

Более сильные и постоянные ветры в морских регионах также способствуют развитию ветроэнергетики, что позволяет обеспечивать более высокую выработку энергии и меньшие нагрузки на ротор и узлы гондолы. В районах с малыми и средними глубинами, где ветровые ресурсы значительны, установка морских стационарных ветряных турбин более практично и экономически выгодно в сравнении с установкой морских плавучих платформ. Однако страны, омываемые водами Атлантического океана, включая США, Японию и страны Западной Европы, имеют ограниченные прибрежные территориальные воды¹⁸ с глубинами менее 50 метров. Из экологических преимуществ МПВТ можно отметить, что их установка возможна в тех местах, где легче избежать миграционных маршрутов живых существ, а также мест размножения и кормления морских обитателей. В результате за последние десять лет возник значительный интерес к МПВТ.

Концепции проектирования плавучих морских ветряных турбин

МПВТ относятся к числу концепций, которые могут эффективно и экономично вырабатывать энергию за счет использования ветровых ресурсов на глубоководных акваториях. Ветряная турбина, установленная на плавучем основании, позволяет производить электроэнергию на глубокой воде, где стационарные ветряные турбины экономически нецелесообразны. Существует четыре основных типа опорных конструкций (платформ) МПВТ, концепции которых представлены на рисунке 2.

¹⁸ В терминологии морского права - территориальное море – примыкающий к сухопутной территории государства или к его внутренним морским водам морской пояс шириной, как правило, 12 морских миль, отмеряемых от соответствующих исходных линий.

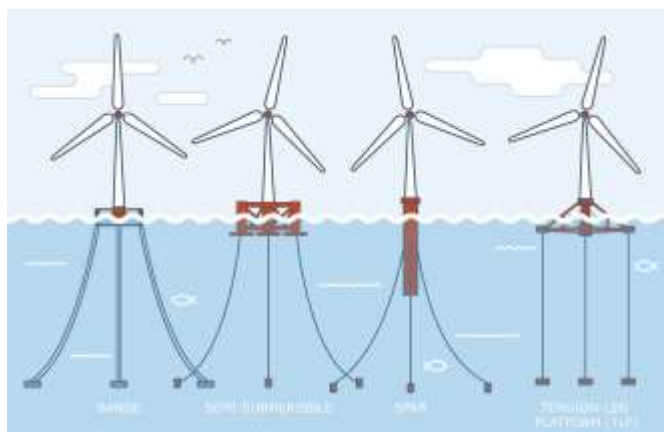


Рис. 2. Основные типы плавучих опор [4]

Слева направо:

Понтон/баржа (англ. pontoon/berge);

Полупогружная платформа (англ. semi-submersible platform);

Платформа типа SPAR (англ. Single point anchorage (Spar) buoy platform);

Платформа типа TLP (англ. tension leg platform).

Наглядно сходства и различия различных типов ПМВТ показаны на рисунке 3.

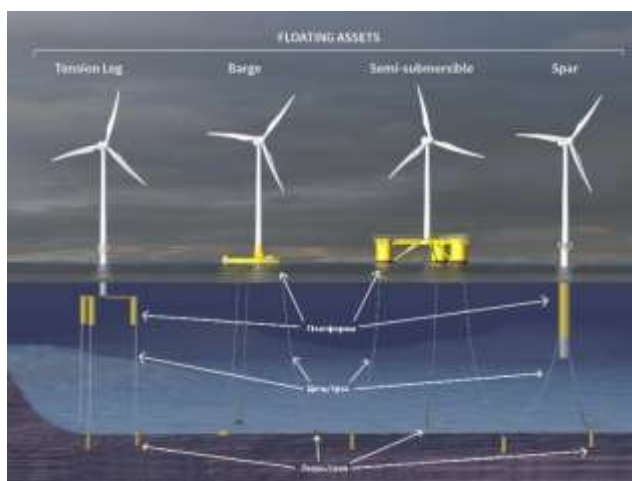


Рис. 3. Пример сходства разных типов плавучих платформ [5]

Каждая конструкция МПВТ имеет преимущества и недостатки, которые следует учитывать в зависимости от параметров места установки, таких как близость к берегу, глубина воды, факторы окружающей среды и характеристики морского дна.

Первая в мире плавучая ветряная электростанция

Первая в мире ПВЭС, созданная корпорацией Statoil, запущена 18 октября 2017 года у берегов Шотландии. Пилотный проект ветропарка Humbly Grove мощностью 30 МВт (пять ветряных турбин по 6 МВт каждая) демонстрирует возможность создания плавучих ветряных электростанций, рисунок 4.

Проект является уникальным не только благодаря вырабатываемой мощности, но и с учетом высокой устойчивости своей конструкции – электростанция Humbly Grove успешно пережила ураган «Каролина», когда скорость ветра превышала 160 м/с.

км/час, а высота волн достигала 8,2 метра. Концепция Hуwind состоит из платформы типа SPAR, на которую установлена ветряная турбина Siemens. Основание платформы представляет собой цилиндрическую конструкцию диаметром около 8,3 м имеющую осадку около 100 метров [7].

Морские платформы типа SPAR являются одними из самых простых и дешевых в изготовлении, имеют длинное цилиндрическое основание, простирающееся в среднем на глубину до 80 м. Внизу цилиндр утяжеляется специальной камерой, чтобы опустить центр тяжести платформы ниже центра ее плавучести, обеспечивая устойчивость. Благодаря большой осадке SPAR лучше всего подходит для очень глубоководных районов и обеспечивает высокую устойчивость к рысканью и крену. SPAR меньше поддается волновому воздействию и минимизирует давление на конструкцию за счет уменьшения площади поперечного сечения в зоне ватерлинии, и, в то же время, снижает стоимость основания. Конструкция стабилизирована балластом и крепится к морскому дну тремя отдельными цепными якорными линиями. Однако платформа SPAR имеет одну из самых сложных систем монтажа, поскольку основание необходимо отбуксировать к месту установки платформы и погрузить в воду, прежде чем турбину можно будет состыковать сверху с помощью кран-баржи.

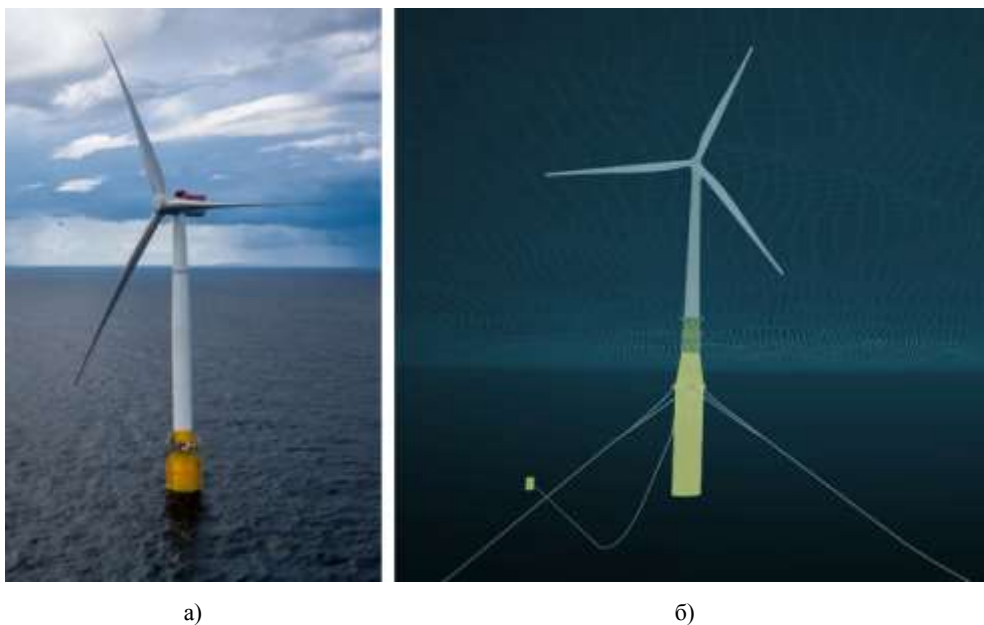


Рис. 4. Плавучая ветряная электростанция Hуwind Scotland (а – фото, б – 3D-визуализация) [6]

Полупогружные платформы

В настоящее время разрабатывается немало проектов МПВТ на основе полупогружных платформ. В последние несколько лет Франция и Великобритания начали активно увеличивать количество установок данного типа.

WindFloat Atlantic – первая в мире полупогружная плавучая морская ветряная электростанция, введена в эксплуатацию в 2020 году (представлена на рисунке 5). В 2022 году проект мощностью 25 МВт выработал 78 ГВтч. Он обеспечивает электроэнергией более 25 тыс. домов и позволяет избежать выбросов 33 тыс. тонн углекислого газа. ПВЭС расположена в 20 км от побережья Португалии в муниципалитете Виана-ду-Каштелу. Каждая ПМВТ состоит из трех ветряных турбин Vestas мощностью 8,4 МВт, которые установлены на полупогружных трехколонных

плавучих платформах, прикрепленных цепями к морскому дну. Подводный кабель длиной 20 км соединяет плавучую турбину с береговой подстанцией [7].

Полупогружные опорные конструкции обычно состоят из ряда вертикальных колонн, соединенных поперечными связями или понтонами. Количество турбин и их расположение бывают различные. В полупогружных платформах используется цепное крепление и якоря. Данный тип платформ размещают как на малых, так и на больших глубинах. Такие платформы легко буксировать на место установки. Ключевым преимуществом полупогружных платформ была используемая технология сборки – сухая (доковая) сборка, обеспечивающая простоту и удобство логистики, значительную финансовую экономию, а буксировка платформ осуществлялась с помощью стандартных буксиров. Ограниченная чувствительность к глубине воды, интеграция с причалом, большая грузоподъемность и возможность перемещения платформы — это лишь некоторые преимущества полупогружных платформ.



Рис. 5. Полупогружная плавучая морская ветряная электростанция WindFloat Atlantic (а – фото, б – 3D-визуализация) [8]

Платформы типа TLP

Не менее привлекательной конструкцией основания морских установок является платформа с натяжными связями (TLP).

Компания SBM Offshore установила три МПВТ для пилотного проекта Provence Grand Large в 2023 году в 17 километрах от Порт-Сен-Луи-дю-Рон (Франция), на глубине около 100 метров. Provence Grand Large — проект, в котором используется платформа-буй на натяжных опорах, изображен на рисунке 6. Ожидается, что ПВЭС будет производить электроэнергию, эквивалентную годовому потреблению электроэнергии 45 тыс. жителей. Турбины будут подключены к электрораспределительной сети, посредством 19-километрового подводного кабеля и 9-километрового подземного кабеля, от плавучей станции до Порт-Сен-Луи-дю-Рон. Первые МВт ожидаются в начале 2024 года после завершения испытаний. Пилотная электростанция мощностью 25 МВт состоит из трех TLP высотой 45 м, на каждую из которых устанавливают ветряной генератор мощностью 8,4 МВт. Это самые мощные турбины, установленные сегодня на континентальном шельфе Франции. Платформы представляют собой конструкции в форме штатива и имеют на концах два погружных буй, между которыми находится инновационная система крепления с натянутыми тросами [9].

Основания TLP уже широко используются на морских нефтегазовых платформах и лучше всего подходят для акваторий с глубинами от 70 до 200 метров. Они имеют погруженную в воду центральную колонну, прикрепленную к морскому дну прочными вертикальными тросами, которые ограничивают возникновение

крена. Стальные натяжные тросы требуют больше удерживающих сил, чем цепные якорные линии, что делает связи более дорогими в установке и чувствительными к экстремальным погодным условиям, землетрясениям и разжижению грунтов. С другой стороны, вертикальное размещение связей занимает гораздо меньше места, чем другие типы креплений, что является преимуществом в чувствительных экологических зонах, таких как маршруты миграции китов.



а)

б)

Рис. 6. Платформа TLP Provence Grand Large (а – фото, б – 3D-визуализация) [9, 10]

Перспективные проекты морских платформ

Мировые технологии не стоят на месте, развитие морской ветроэнергетики идет огромными шагами. Современные морские установки впечатляют своими разработками, воплощенными в реальность.

Проект PivotBuoy — первая в мире поворотная плавучая ветряная платформа TLP для экспорта электроэнергии, созданная компанией X1 Wind, представлена на рисунке 7. В 2022 году проводились испытания масштабированной модели, получившей обозначение X30. В марте 2023 года платформа X30 выработала первую электроэнергию.

Система PivotBuoy сочетает в себе преимущества одноточечных швартовых систем – SPM (простота установки) с преимуществами систем натяжных опор – TLP (снижение веса и повышение устойчивости). Швартовая система PivotBuoy состоит из неподвижной части, прикрепленной к морскому дну, и подвижной части, которая вращается вместе с платформой. В отличие от существующих платформ, PivotBuoy принимает ветровую нагрузку с подветренной стороны, позволяя установке пассивно поворачиваться по принципу флюгера и самостоятельно ориентироваться под воздействием ветра. Это позволяет удалить традиционную башню и создать опору в форме треноги, более эффективную в передаче нагрузки [11].

Система PivotBuoy предназначена для предварительной установки вместе с швартовой системой и позволяет быстро подключать и отсоединять платформу. Это позволяет собирать платформу на берегу, а затем буксировать ее на площадку с

использованием малых и средних судов, что упрощает морские операции и снижает затраты на установку. Установка на точке с использованием натяжных связей по сравнению с якорями с длинным распором и волочением, используемыми в цепных системах, обеспечивает значительное уменьшение площади контакта платформы с морским дном и, как следствие, снижение воздействия на окружающую среду. Платформу платформы возможно на глубинах от 60 до 500 метров и более.

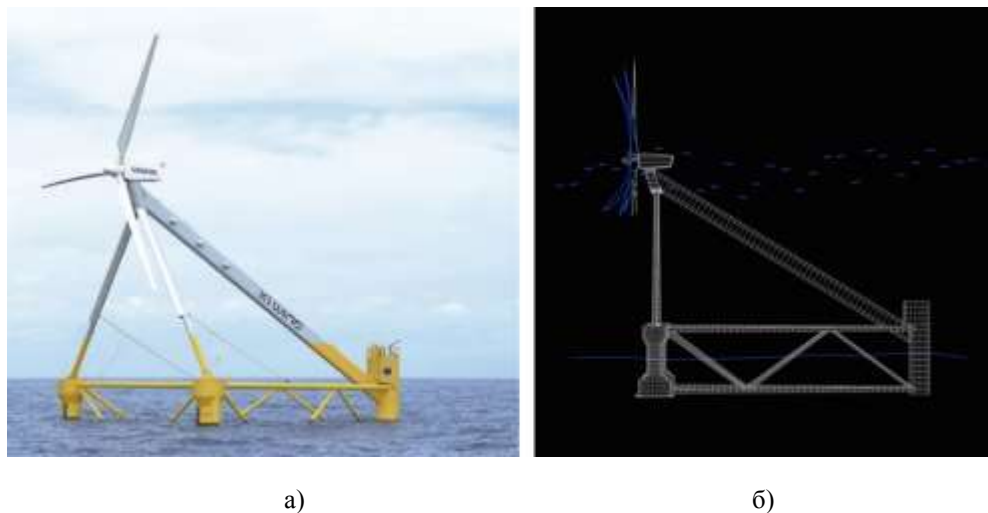


Рис. 7. Проект PivotBuoy (а – фото, б – 3D-визуализация) [11, 12]

Платформы третьего поколения

Gazelle Wind Power (Gazelle), разработчик модульной плавучей морской ветряной платформы, представил технологию третьего поколения, изображенную на рисунке 8. Усовершенствованная конструкция компании решает основные проблемы, стоящие перед морской ветроэнергетической отраслью, таких как стоимость, затруднения в цепочке поставок и устойчивость. Платформа «Gazelle» существенно отличается от более старых моделей, которые являются тяжелыми, громоздкими, сложными в сборке и транспортировке, при этом снижая затраты на 30% по сравнению с обычными полупогружными конструкциями. Частично это улучшение связано с сокращением количества металла в конструкции по сравнению с традиционными морскими платформами. Данную платформу можно быстро и просто установить на объекте, так как она не требует специальных кранов или судов благодаря модульному процессу сборки.

Компания заявляет, что ее странная на вид платформа представляет собой нечто среднее между полупогружной платформой и платформой с натяжными связями (TLP). Основание платформы прикреплено тросами к морскому дну. Ее система «динамической швартовки» создает примерно на 80 % меньшую нагрузку на донные тросы, чем обычная платформа с натяжными связями. Стальные связи поднимаются к плавучей конструкции, проходят через поворотные рычаги, а затем опускаются и прикрепляются к тяжелому противовесу, подвешенному под платформой. Дизайн позволяет платформе двигаться горизонтально и вертикально под воздействием ветра и волн, практически с нулевым углом наклона. Хотя большинство морских ветряных турбин рассчитаны на угол наклона до 10°, это приводит к дополнительному износу компонентов платформы. Угол наклона менее 10° означает меньший износ, меньшие затраты на техническое обслуживание и более длительный срок службы генератора. Геометрия платформы обеспечивает меньшую осадку в порту, что позволяет избежать

реконструкции портов, используя имеющиеся неглубоководные достроечные набережные [13].



а)

б)

Рис. 8. Модульная плавучая ветряная платформа Gazelle
(а – фото, б – 3D-визуализация) [13]

Отказ от привычных лопастей

Несмотря на то, что основным различием всех ПВЭС является концепция плавучего фундамента, некоторые разработчики решили отказаться от трехлопастной турбины.

В частности, шведская компания SeaTwirl запатентовала плавучую ветряную турбину с вертикально ориентированной осью вращения (рисунок 9). Главное преимущество такой турбины - возможность установки ее в море на гораздо больших расстояниях, где практически всегда дуют сильные ветры. Вертикальная ориентация турбины и лопастей снижает нагрузку на подшипники вала, что делает этот узел дешевле и долговечнее, а нижнее расположение генератора (на уровне моря) облегчает обслуживание и позволяет избежать дорогостоящих монтажных работ, как и исключает из проекта высокопрочные и дорогие вспомогательные башенные конструкции.

Вертикально ориентированные лопасти должны выдерживать ветер до 50 м/с. Высота надводной части достигнет 55 м, а подводная уйдет на 80 м ниже уровня моря. Турбина будет отбуксирована в море на участок с глубиной не менее 100 м. Ввод объекта в эксплуатацию ожидается к концу 2023 года с периодом испытаний около пяти лет. Успех позволит SeaTwirl перейти к разработке плавучих турбин с вертикальной ориентацией мощностью от 6 до 10 МВт [14].

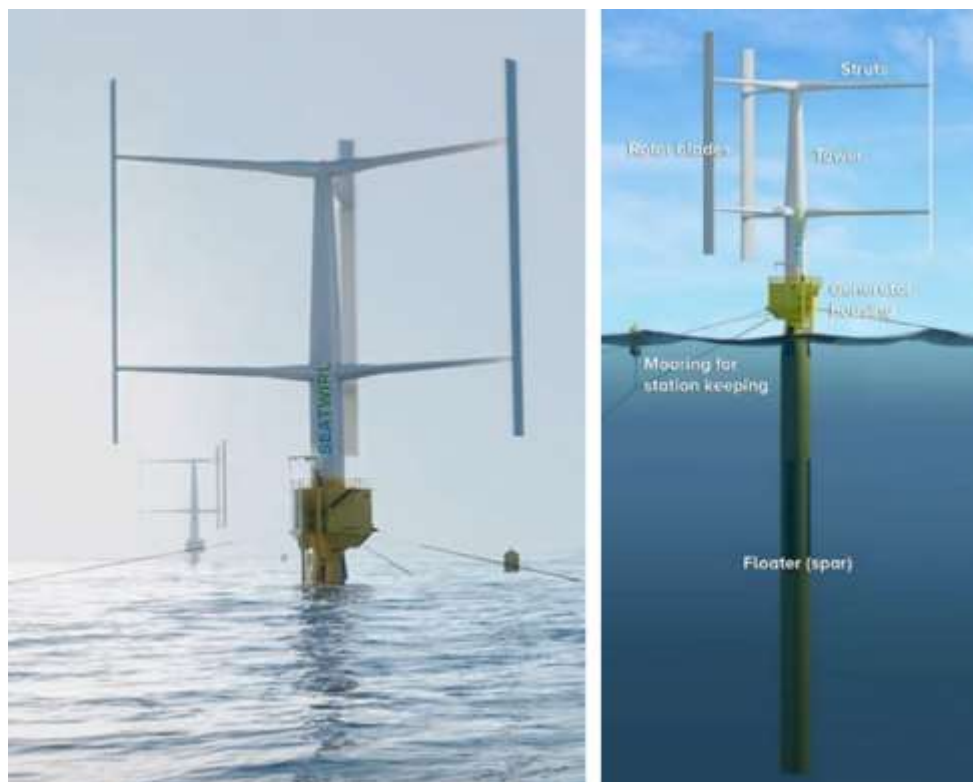


Рис. 9. Плавающая ветряная турбина с вертикально ориентированной осью вращения компании SeaTwirl (а – фото; б – 3D-визуализация) [14]

Морская ветроэнергетика в России

Рассматривая состояние морской ветроэнергетики в России, можно отметить, что проекты плавучих ветряных электростанций не развиваются с такой же интенсивностью, как, например, в странах Западной Европы. Это связано с тем, что северные и восточные акватории страны являются полностью или частично замерзающими. Лед, являясь источником опасности, может нанести колоссальный ущерб при столкновении с конструкциями. Для всех плавучих сооружений, которые постоянно или периодически контактируют со льдом, необходимо дополнительное конструктивное укрепление, из-за чего стоимость сооружений значительно увеличивается. Несмотря на то, что постройка ПВЭС в ледовых условиях пока нерентабельна, ученые стараются решить данную задачу.

Южные моря России имеют более благоприятный климат. Однако возникает вопрос о рентабельности создания ПВЭС, поскольку акватории южных морей не обеспечивают достаточного ветрового воздействия для эффективного использования ПВЭС.

Заключение

Существует множество форм и подходов к разработке дизайна плавучих ветряных электростанций. В различных странах мира отмечаются попытки создания моделей плавучих установок с двумя и большим количеством ветряных турбин. В связи с тем,

что экспериментальные модели не воплощаются в натурные объекты, можно сделать вывод, что надежнее и эффективнее создавать платформы с одной турбиной.

Что касается плавучих фундаментов, нельзя утверждать, что один конкретный тип будет лидировать в будущем. МПВТ – сложный объект, архитектура которого зависит от многих параметров. Основными критериями при расчете конструкций являются глубина моря, сила воздействия ветра, течений, землетрясений. Главной составляющей при определении типа МПВТ является экономическая рациональность. Проблему представляет место создания конкретной ветровой установки: трудно найти подходящее место сборки конструкции, так как большинство судовых достроечных набережных не рассчитаны на монтаж и сборку конструкций больших размеров. По этой же причине появляются проблемы транспортировки МПВТ и их выгрузки с судна.

Хотя при проектировании современных МПВТ стараются отказываться от классических конструкций полупогружных платформ и TLP, применяя гибридные конструкции, многие компании не спешат отказываться от простых, громоздких конструкций, проверенных временем. Ветряные турбины будут продолжаться увеличиваться в размерах для достижения целей декарбонизации и удовлетворения потребностей в энергии, причем некоторые из них достигнут высоты, сравнимой с наиболее крупными наземными сооружениями. Это означает, что плавучая платформа, поддерживающая турбину, должна быть большой и устойчивой в глубоком море, чтобы обеспечить оптимальную работу и производительность.

России нельзя отказываться от дальнейшей разработки проектов ПВЭС. Географическое расположение нашей страны позволит в ближайшем будущем использовать морские ветровые ресурсы также эффективно, как это делают другие морские державы. В настоящее время следует обратить внимание на места с большими ветровыми источниками на суше страны и сосредоточить усилия на создании стационарных ветряных электростанций, конструкции которых можно будет использовать в будущем с учетом доработки на морских ветровых установках.

Список литературы

1. A turning point for offshore wind. Global opportunities and risk trends. Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS) report, Поворотный момент для морской ветроэнергетики. Глобальные возможности и тенденции рисков. Отчет компании Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS), сентябрь 2023. – Текст : электронный // Allianz Commercial : [официальный сайт]. - 2023. - URL: [https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/offshore-wind-opportunities-risks.html#:~:text=Global%20offshore%20wind%20capacity%20at,years%20\(дата обращения: 01.12.2023\)](https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/offshore-wind-opportunities-risks.html#:~:text=Global%20offshore%20wind%20capacity%20at,years%20(дата обращения: 01.12.2023)).
2. Floating Wind Power Market. Precedence Research report, код отчёта 2225, август 2023г. – Текст : электронный // Precedence Research: [официальный сайт]. - 2023. URL: <https://www.precedenceresearch.com/floating-wind-power-market> (дата обращения: 01.12.2023).
3. Offshore wind vessel availability until 2030: Baltic Sea and Polish perspective. Заключительный отчет, июнь 2022 г. – Текст : электронный // H-BLIX. – 2022. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/topics/offshore/Offshore-wind-vessel-availability-until-2030-report-june-2022.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).
4. Jakobsen, E.G., Ironside, N. Oceans unlocked - a floating wind future. Текст : электронный // COWI - 2021. URL: <https://www.cowi.com/insights/oceans-unlocked-a-floating-wind-future> (дата обращения: 01.12.2023).
5. Gibson S., Brown W. Wind Energy Ireland. – Текст : электронный // Исследовательский проект National Port Study - Сентябрь 2021. - URL: <https://windenergyireland.com/images/files/final-national-ports-study.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).
6. Rummelhoff I., World's first floating wind farm has started production. – Текст : электронный // Equinor : [официальный сайт]. 2017. - URL: <https://www.equinor.com/>

- news/archive/worlds-first-floating-wind-farm-started-production (дата обращения: 01.12.2023).
7. Lewis M. World's first semi-submersible floating offshore wind farm blows past expectations. – Текст : электронный // Electrek : [официальный сайт]. – 2023. - URL: <https://electrek.co/2023/01/30/semi-submersible-floating-offshore-wind-farm/> (дата обращения: 01.12.2023).
 8. Robertson A.N., Jonkman J.M. Loads Analysis of Several Offshore Floating Wind Turbine Concepts. - Текст : электронный // NREL. стр.5. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/50539.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).
 9. SBM Offshore announces the successful installation of the 3 floating wind units for the Provence Grand Large pilot project. - Текст : электронный // CSN: [официальный сайт] - 2023. // URL: <https://cyprusshippingnews.com/2023/10/17/sbm-offshore-announces-the-successful-installation-of-the-3-floating-wind-units-for-the-provence-grand-large-pilot-project/> (дата обращения: 01.12.2023).
 10. SBM Offshore is selected by EDF Energies Nouvelles to provide floating wind systems solution for pilot offshore France. - Текст : электронный // Windfair : [официальный сайт] - 2016. // URL: <https://w3.windfair.net/wind-energy/news/23446-sbm-offshore-is-selected-by-edf-energies-nouvelles-to-provide-floating-wind-systems-solution-for-pilot-offshore-france> (дата обращения: 01.12.2023).
 11. Официальный сайт компании Pivotbuoy, URL: <https://pivotbuoy.eu/> (дата обращения: 01.12.2023).
 12. Официальный сайт компании X1 Wind, URL: <https://www.x1wind.com/technology> (дата обращения: 01.12.2023).
 13. Blain L. Pivoting arms could stabilize massive floating offshore wind turbines - Текст : электронный // New Atlas : [официальный сайт] - 2023. // URL: <https://newatlas.com/energy/gazelle-floating-wind> (дата обращения: 01.12.2023).
 14. Дегинич Г. У берегов Норвегии протестируют 135-метровый ветряк с вертикальными лопастями для морских электростанций. - Текст : электронный // 3dnews.ru : [официальный сайт] - 2023. // URL: <https://3dnews.ru/1074071/vetroenergetika-uydyot-ot-beregov-v-more-pervuyu-vertikalno-orientirovannuyu-vetryanuyu-turbinu-moshchnostyu-1-mvt-razvernuto-u-beregov-norvegii> (дата обращения: 01.12.2023).

References

1. A turning point for offshore wind. Global opportunities and risk trends. Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS) report, September 2023 Text: electronic // Allianz Commercial: [official website]. - 2023. URL: <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/offshore-wind-opportunities-risks.html#:~:text=Global%20offshore%20wind%20capacity%20at,years%20> (accessed 01.12.2023).
2. Floating Wind Power Market. Precedence Research report, report code 2225, August 2023. Text: electronic // Precedence Research: [official website]. - 2023. URL: <https://www.precedenceresearch.com/floating-wind-power-market> (accessed 01.12.2023).
3. Offshore wind vessel availability until 2030: Baltic Sea and Polish perspective. Final report, June 2022. Text: electronic // H-BLIX. – 2022 URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/topics/offshore/Offshore-wind-vessel-availability-until-2030-report-june-2022.pdf> (accessed 01.12.2023).
4. Jakobsen, E.G., Ironside, N. Oceans unlocked - a floating wind future. Text: electronic // COWI. - 2021. // URL: <https://www.cowi.com/insights/oceans-unlocked-a-floating-wind-future> (accessed 01.12.2023).
5. Gibson S., Brown W. Wind Energy Ireland, September 2021. // Project Title: National Port Study. - URL: <https://windenergyireland.com/images/files/final-national-ports-study.pdf> (accessed 01.12.2023).
6. Rummelhoff I., World's first floating wind farm has started production. Text: electronic // Equinor: [official website]. - 2017. - URL: <https://www.equinor.com/news/archive/worlds-first-floating-wind-farm-started-production>. (accessed 01.12.2023).
7. Lewis M. World's first semi-submersible floating offshore wind farm blows past expectations. Text: electronic // Electrek: [official website]. – 2023. -

- URL: <https://electrek.co/2023/01/30/semi-submersible-floating-offshore-wind-farm/> (accessed 01.12.2023).
8. Robertson A.N., Jonkman J.M. Loads Analysis of Several Offshore Floating Wind Turbine Concepts. Text: electronic // NREL. pp.5. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/50539.pdf> (accessed 01.12.2023).
 9. SBM Offshore announces the successful installation of the 3 floating wind units for the Provence Grand Large pilot project. Text: electronic // CSN: [official website]. - 2023. - URL: <https://cyprusshippingnews.com/2023/10/17/sbm-offshore-announces-the-successful-installation-of-the-3-floating-wind-units-for-the-provence-grand-large-pilot-project/> (accessed 01.12.2023).
 10. SBM Offshore is selected by EDF Energies Nouvelles to provide floating wind systems solution for pilot offshore France. Text: electronic // Windfair: [official website]. - 2016. // URL: <https://w3.windfair.net/wind-energy/news/23446-sbm-offshore-is-selected-by-edf-energies-nouvelles-to-provide-floating-wind-systems-solution-for-pilot-offshore-france> (accessed 01.12.2023).
 11. Official website of the company Pivotbuoy, URL: <https://pivotbuoy.eu/> (accessed 01.12.2023).
 12. Official website of the company X1 Wind, URL: <https://www.x1wind.com/technology> (accessed 01.12.2023).
 13. Blain L. Pivoting arms could stabilize massive floating offshore wind turbines. Text: electronic // Newatlas: [official website]. - 2023. URL: <https://newatlas.com/energy/gazelle-floating-wind> (accessed 01.12.2023).
 14. Detinich G. U beregov Norvegii protestiruyut 135-metrovyy vetryak s vertikal'nymi lopastyami dlya morskikh elektrostantsiy [A 135-meter wind turbine with vertical blades for offshore power plants will be tested off the coast of Norway.] - Text: electronic // 3dnews.ru electronic journal: [official website].- 2023. // URL: <https://3dnews.ru/1074071/vetroenergetika-uydyot-ot-beregov-v-more-pervuyu-vertikalno-orientirovannuyu-vetryanuyu-turbinu-moshchnostyu-1-mvt-razvernuto-u-beregov-norvegii> (accessed 01.12.2023).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Чалкина Анастасия Антоновна, студент кафедры «Океанотехники и морских технологий», Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121, Санкт-Петербург, улица Лоцманская, дом 3, e-mail: nastia35351@gmail.com

Anastasia A. Chalkina, Student of the Department of «Ocean Engineering and Marine Technologies» of the State Marine Technical University, Lotsmanskaya Street, 3, Saint-Petersburg, 190121, Russia, e-mail: nastia35351@gmail.com

Лобанов Алексей Валериевич, к.т.н., начальник отдела обеспечения морской деятельности судостроения и эксплуатации морской техники, ПАО «Газпром», 197229, Санкт-Петербург, проспект Лахтинский, дом 2, корпус 3, строение 1, e-mail: al.lobanov@adm.gazprom.ru

Aleksey V. Lobanov, Head of the Marine Activity Support Department of Shipbuilding and Marine Equipment Operation, PJSC Gazprom, Lakhtinsky Avenue, 2, 3, 1, Saint-Petersburg, 197229, Russia, e-mail: al.lobanov@adm.gazprom.ru

Статья поступила в редакцию 21.12.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.
Received 21.12.2023; published online 20.03.2024