

Руководство по охране окружающей среды, здоровья и труда для ветроэнергетики

Введение

Руководства по охране окружающей среды, здоровья и труда (ОСЗТ) представляют собой технические справочники, содержащие примеры надлежащей международной отраслевой практики (НМОП)¹ как общего характера, так и относящиеся к конкретным отраслям. Если в реализации проекта участвует один член Группы организаций Всемирного банка или более, применение настоящего Руководства осуществляется в соответствии с принятыми в этих странах стандартами и политикой. Такие Руководства по ОСЗТ для различных отраслей промышленности следует применять в сочетании с **Общим руководством по ОСЗТ** – документом, в котором пользователи могут найти указания по общим вопросам ОСЗТ, потенциально применимым ко всем отраслям промышленности. При осуществлении комплексных проектов может возникнуть необходимость в использовании нескольких Руководств, касающихся различных отраслей промышленности. С полным перечнем Руководств для отраслей промышленности можно ознакомиться по адресу: <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

¹ Определяется как применение профессиональных навыков и проявление старательности, благоразумия и предусмотрительности, чего следует с достаточным на то основанием ожидать от квалифицированного и опытного специалиста, занятого аналогичным видом деятельности в таких же или сходных условиях в любом регионе мира. При оценке применяемых в ходе реализации проекта способов предупреждения и предотвращения загрязнения окружающей среды квалифицированный и опытный специалист может выявить обстоятельства, такие, например, как различные уровни экологической деградации и ассимилирующей способности окружающей среды, а также различные уровни финансовой и технической осуществимости.

В Руководствах по ОСЗТ приводятся такие уровни и параметры эффективности, которые, как правило, считаются достижимыми на вновь введенных в эксплуатацию объектах при современном уровне технологии и приемлемых затратах. Применение положений Руководств по ОСЗТ к уже существующим объектам может потребовать разработки особых целевых показателей для каждого объекта и соответствующего графика их достижения.

Применение Руководства по ОСЗТ следует увязывать с факторами опасности и риска, определенными для каждого проекта на основе результатов экологической оценки, в ходе которой принимаются во внимание конкретные для каждого объекта переменные, такие, как особенности страны реализации проекта, ассимилирующая способность окружающей среды и прочие факторы, связанные с намечаемой деятельностью. Порядок применения конкретных технических рекомендаций следует разрабатывать на основе экспертного мнения квалифицированных и опытных специалистов.

Если нормативные акты в стране реализации проекта предусматривают уровни и параметры, отличные от содержащихся в Руководствах по ОСЗТ, то при реализации проекта надлежит в каждом случае руководствоваться более жестким из имеющихся вариантов. Если в силу особых условий реализации конкретного проекта целесообразно применение менее жестких уровней или параметров, нежели те, что представлены в настоящем Руководстве по ОСЗТ, в рамках экологической оценки по

конкретному объекту надлежит представить подробное и исчерпывающее обоснование любых предлагаемых альтернатив. Такое обоснование должно продемонстрировать, что выбор любого из альтернативных уровней результативности обеспечит охрану здоровья населения и окружающей среды.

Применение

Руководство по ОСЗТ для ветроэнергетики содержит информацию, касающуюся охраны окружающей среды, здоровья и труда в связи с сооружением и эксплуатацией наземных и морских ветроэнергетических установок. Описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли, содержится в Приложении А. Вопросы ОСЗТ, связанные с эксплуатацией линий электропередачи, рассматриваются в Руководстве по ОСЗТ для сетей передачи и распределения электроэнергии. Настоящий документ состоит из следующих разделов:

- | | | |
|--------------|---|---|
| Раздел 1.0 | – | Характерные для отрасли виды неблагоприятного воздействия и борьба с ними |
| Раздел 2.0 | – | Показатели эффективности и мониторинг |
| Раздел 3.0 | – | Справочная литература и дополнительные источники информации |
| Приложение А | – | Общее описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли |

1.0 Характерные для отрасли виды неблагоприятного воздействия и борьба с ними

В данном разделе приводится обзор проблем ОСЗТ, возникающих в связи с эксплуатацией ветроэнергетических установок, и содержатся рекомендации по их решению.

1.1 Охрана окружающей среды

Работы по сооружению объектов ветроэнергетики обычно включают: расчистку земельных участков для строительных площадок и подъездных путей; земляные работы, взрывные работы и сброс породы в отвалы; транспортировку оборудования, материалов и горючего; закладку фундаментов, в том числе земляные работы и заливку бетона; эксплуатацию кранов для разгрузки и монтажа оборудования; ввод нового оборудования в эксплуатацию. Работы по выводу объектов из эксплуатации могут включать демонтаж компонентов инфраструктуры объекта и рекультивацию земельного участка.

К числу экологических проблем, связанных с этими работами по сооружению и выводу из эксплуатации объектов ветроэнергетики, могут, в частности, относиться, шум и вибрация, эрозия почвы и угроза биоразнообразию, включая изменение среды обитания и воздействие на дикую природу. Поскольку обычно проекты использования энергии ветра реализуются в отдаленных районах, транспортировка оборудования и материалов при сооружении этих объектов и выводе их из эксплуатации могут быть сопряжены с логистическими проблемами. Рекомендации по решению этих проблем ОСЗТ содержатся в разделе **Общего руководства по ОСЗТ**, посвященном вопросам охраны окружающей среды на этапах строительства и вывода из эксплуатации.

К числу экологических проблем, характерных для реализации проектов использования энергии ветра и эксплуатации ветроэнергетических установок, относятся:

- Воздействие на визуальное восприятие
- Шум
- Животные: гибель, увечья, беспокоящее воздействие
- Проблемы света и освещения
- Изменение среды обитания
- Качество воды

Воздействие на визуальное восприятие

Ветроэлектростанция (ВЭС) способна оказывать воздействие на визуальное восприятие, зависящее от её размещения и восприятия местным населением. Воздействие ветроэнергетических проектов на визуальное восприятие обычно связано с самими ветрогенераторами (например, их цветом, высотой и количеством) и с тем, как они сочетаются с ландшафтом местности.

С целью предотвращения и ограничения отрицательного воздействия на визуальное восприятие необходимо принимать следующие меры²:

- Консультироваться с местным населением по вопросу размещения ветроэлектростанции с целью учета в проекте взглядов местного населения;
- Учитывать характер ландшафта при размещении ветрогенераторов;
- При выборе мест размещения ветрогенераторов учитывать их воздействие на визуальное восприятие под всеми соответствующими углами наблюдения;
- Сводить к минимуму количества вспомогательных сооружений на территории объекта за счет отказа от возведения ограждений, минимизации протяженности дорог, прокладки по территории объекта подземных

линий электропередачи и демонтажа недействующих ветрогенераторов;

- Избегать образования крутых склонов, осуществлять противозрозионные мероприятия и оперативно проводить повторное озеленение, причем только местными видами растений;
- Поддерживать единообразные размер и конструкцию ветрогенераторов (например, направление вращения, тип турбины и башни, высоту);
- Окрашивать ветрогенераторы в единообразный цвет, обычно совпадающий с оттенком неба (светло-серый или бледно-голубой), соблюдая при этом правила морской и воздушной навигации в части нанесения опознавательных знаков;
- Избегать нанесения на турбины надписей, эмблем компаний, рекламы или графических изображений.

Шум

В процессе работы ветровые турбины издают шум. Основными источниками шума являются механические и аэродинамические. Источником механического шума может быть оборудование в гондоле, а аэродинамического – взаимодействие потока воздуха с лопастями турбины и башней. Существует несколько видов аэродинамического шума, в том числе низкочастотный, низкочастотный импульсный, тональный и непрерывный широкополосный. Кроме того, шум может усиливаться с повышением скорости вращения лопастей турбины, поэтому турбины, конструкция которых обеспечивает снижение скорости вращения при сильном ветре, оказываются более «тихими».

Меры по предотвращению и ограничению воздействия шума связаны, в основном, со стандартами проектирования. Например, источником широкополосного шума является воздушная турбулентность позади лопастей, и уровень этого шума растет с увеличением скорости вращения лопастей. Уровень этого шума можно ограничить

² Gipe (1995).

за счет использования турбин с переменной скоростью или лопастей с изменяемым углом наклона, что позволяет снизить скорость вращения.

Кроме того, в целях нейтрализации шума рекомендуется принимать следующие дополнительные меры:

- Надлежащим образом размещать ветроэлектростанции, избегая их размещения вблизи реципиентов, восприимчивых к воздействию шума (например, жилых домов, больниц и школ);
- Соблюдать национальные или международные акустические нормы проектирования ветровых турбин (например, разработанные Международным энергетическим агентством, Международной электротехнической комиссией [МЭК] и Американским национальным институтом стандартов).

Животные: гибель, увечья, беспокоящее воздействие

Наземные ВЭС

В процессе эксплуатации наземных ветрогенераторов возможны гибель и увечья птиц и рукокрылых в результате столкновения с лопастями ветровых турбин и/или башнями. К числу возможных косвенных последствий для птиц относятся вызванные изменением среды обитания на территории ветроэлектростанции количественные и качественные изменения видового состава животных, являющихся добычей хищных птиц, а также изменения характера и количества мест для гнездования и отдыха птиц вследствие естественного изменения среды обитания, а также использования птицами ветровых турбин³ в качестве присад.

Воздействие на птиц и рукокрылых зависит от масштабов проекта и иных факторов, в том числе, технологических

аспектов (например, размеров башен и конструкции турбин), освещения ветрогенераторов и планировки ветроэлектростанции. Кроме того, на это воздействие могут повлиять и особенности территории ВЭС, включая его рельеф и топографические характеристики (например, близость к крупным скоплениям птиц, рукокрылых или видов, служащих им добычей), количество птиц и рукокрылых, пролетающих через территорию ветроэлектростанции, особенности их поведения, ставящие их под особую угрозу (например, высота парения птиц и пути миграции рукокрылых), а также метеорологические аспекты.

К числу мер по предотвращению и ограничению этого воздействия относятся:

- Подбор участка для размещения ВЭС с учетом известных путей миграции или крупных скоплений птиц и рукокрылых. Среди примеров таких мест – водно-болотные угодья, районы, отведённые под заказники, места сезонных скоплений, птичьи базары, места зимовки рукокрылых, места ночлега, горные кряжи, долины рек и прибрежные районы;
- Размещать группы ветрогенераторов таким образом, чтобы избежать возможной гибели птиц (например, размещать ветрогенераторы плотными, а не рассеянными группами, либо выстраивать ряды ветрогенераторов параллельно известным путям пролёта птиц);
- Принимать надлежащие меры по удалению ливневых вод во избежание образования вблизи ветроэлектростанции мест, привлекательных для кормежки или размножения птиц и рукокрылых, – например, небольших прудов.

³ NWCC (1999).

Морские ВЭС

Маловероятно, что шум, издаваемый морскими ВЭС *при работе*, вынудит рыб и морских млекопитающих покинуть территорию, на которой размещается ветроэнергетический объект. Работы, связанные с установкой или демонтажем морских ветрогенераторов и подводных кабелей, могут привести к временному покиданию рыбами, морскими млекопитающими, морскими черепахами и птицами своих местообитаний. Причиной этого может быть как непосредственное беспокоящее воздействие – шумовое, визуальное, вибрационное, – так и косвенное воздействие увеличенного содержания взвеси в толще воды, вызванного нарушением донных отложений.

Меры по нейтрализации этого воздействия зависят от особенностей местной среды обитания и могут включать:

- «Плавный запуск» работ по забиванию свай с целью способствовать предотвращению воздействия на рыб, морских млекопитающих и морских черепах вредного для них уровня шума и дать им возможность покинуть район работ;
- Применение для прокладки кабелей гидромониторной технологии, считающейся наиболее экологически безопасным решением по сравнению с традиционными технологиями;
- Применение односвайных оснований, оказывающих минимальное, по сравнению с иными видами оснований, возмущающее воздействие на морское дно⁴.

Как и в случае с наземными ветроэлектростанциями, столкновение с морскими ветровыми турбинами чревато для птиц гибелью или увечьями. К числу мер предупреждения и контроля, направленных на

минимизацию риска столкновения морских птиц с ветрогенераторами, относятся:

- Надлежащее размещение морских ВЭС за пределами районов крупных скоплений птиц, в том числе миграционных путей;
- Поддержание высоты башен ветрогенераторов ниже высоты, на которой обычно проходят миграционные пути перелётных птиц;
- Установка лопастей ветроколёс на достаточном расстоянии от поверхности моря, исключающем соударения с птицами, находящимися вблизи поверхности моря;
- Применение ветроколёс с меньшей скоростью вращения для повышения видимости лопастей⁵.

Мелькание тени и блеск лопастей

Мелькание тени наблюдается, когда солнце проходит позади ветрогенератора, и он отбрасывает тень. При вращении ветроколеса тени проходят по одному и тому же месту, в результате чего и наблюдается эффект, известный как мелькание тени. Мелькание тени может стать проблемой в случае, если жилые дома расположены вблизи ветроэлектростанции или определенным образом по отношению к ней.

Подобно мельканию тени, блеск лопастей или башен имеет место в случае, когда солнечные лучи отражаются под определенным углом от лопастей ветроколеса или от башни. Это может оказать воздействие на местное население, поскольку солнечные лучи, отражающиеся от лопастей ветроколеса, могут быть направлены в сторону соседних домов. Блеск лопастей – это временное явление, характерное только для новых ветрогенераторов; обычно он исчезает после нескольких месяцев эксплуатации, после того, как лопасти загрязнятся.

⁴ CWA (2004).

⁵ CWA (2004).

К числу мер предупреждения и контроля, направленных на нейтрализацию этого воздействия, относятся:

- Размещение и ориентация ветрогенераторов таким образом, чтобы в их тени не оказывались жилые дома, расположенные в узких секторах (обычно к юго-западу и юго-востоку от ветрогенератора), где наблюдается высокая частота мелькания тени. Для выявления «зон» мелькания тени может быть использовано имеющееся на рынке программное обеспечение для моделирования, что позволит разместить ветроэлектростанцию соответствующим образом;
- Окраска башен ветрогенераторов в белый цвет неотражающей краской, позволяющей устранить эффект отражения солнечных лучей.

Изменение среды обитания

Наземные ВЭС

Потенциал изменения наземной среды обитания вследствие сооружения и эксплуатации наземных ветрогенераторов ограничен, поскольку площадь, занимаемая каждым из этих объектов, сравнительно невелика. Способы избежать этого воздействия и свести его к минимуму описаны, как указано выше, в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Вместе с тем, строительство подъездных путей для размещения объектов ветроэнергетики в отдаленных районах может стать дополнительным фактором риска изменения наземной среды обитания. Дополнительные указания по предотвращению и ограничению воздействия строительства и эксплуатации объектов дорожного хозяйства содержатся в **Руководстве по ОСЗТ для автомобильных дорог**.

Морские ВЭС

Монтаж оснований морских ветрогенераторов может привести к утрате существующей морской среды обитания

вследствие проведения земляных работ на дне моря. В зависимости от расположения ветрогенератора это может нанести невосполнимый ущерб ключевым этапам жизненного цикла (например, нересту, выращиванию молоди), рыбным ресурсам спортивного либо промыслового значения, хотя потенциал наступления негативных последствий и незначителен, поскольку площадь, занимаемая каждой из этих установок, сравнительно невелика⁶. Подводная часть башни ветрогенератора и её основание могут стать новым субстратом (искусственной средой обитания), на котором могут поселиться некоторые виды морской флоры и фауны. Кроме того, основание ветрогенератора может стать новым местообитанием – резерватом морских рыб и иных организмов⁷.

Избежать возможных отрицательных последствий либо свести их к минимуму можно за счет надлежащего размещения ветрогенераторов вне экологически уязвимых районов.

Качество воды

Наземные ВЭС

Закладка фундаментов ветрогенераторов, прокладка подземных кабелей и подъездных путей может привести к усилению эрозии и заилению поверхностных вод. Меры по предотвращению и ограничению эрозии и заилению рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ** и в **Руководстве по ОСЗТ для автомобильных дорог**.

Морские ВЭС

Монтаж оснований ветрогенераторов и прокладка подводных кабелей может привести к нарушению участков морского дна и временному увеличению концентрации взвешенных веществ в толще воды, а следовательно – к

⁶ CWA (2004).

⁷ Исследования показали, что искусственные подводные сооружения могут способствовать сокращению смертности рыбы и приросту пищевых ресурсов, а также служить убежищем (Bombace 1997).

ухудшению качества воды и потенциально неблагоприятному воздействию на морские организмы и рыбные ресурсы спортивного либо промыслового значения.

К числу мер профилактики и контроля, направленных на нейтрализацию этого воздействия, относятся:

- Выбор местоположения ВЭС с учетом того, насколько её структурные компоненты могут стать помехой местам обитания морских организмов и рыбным ресурсам промыслового либо спортивного значения;
- Планирование монтажа структурных компонентов ВЭС с учетом периодов жизненного цикла морских организмов, связанных с их повышенной уязвимостью;
- При наличии технической возможности – использование илоуловителей для уменьшения мутности воды, вызываемой подводными строительными работами.

1.2 Охрана труда и техника безопасности

Вредные и опасные производственные факторы, возникающие при строительстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации наземных и морских ветроэнергетических установок, в общем, сходны с возникающими на других крупных промышленных и инфраструктурных объектах. К ним могут относиться физические опасные факторы, такие, как высотные работы, работа в замкнутом пространстве, эксплуатация оборудования с вращающимися элементами и падение предметов. Вопросы предупреждения и устранения этих и иных физических, химических, биологических и радиологических опасных факторов рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

К числу вредных и опасных производственных факторов, характерных для объектов и работ в области ветроэнергетики, прежде всего, относятся⁸:

- Высотные работы
- Работы над водой

Высотные работы

Необходимость в высотных работах может возникать при строительстве, в том числе при монтаже компонентов башен ветрогенераторов, а также при проведении технического обслуживания во время эксплуатации. В целях предотвращения и нейтрализации опасных факторов, связанных с высотными работами, необходимы, в частности, следующие меры:

- Проверка целостности сооружения до начала работ;
- Реализация программы мер по защите от падения с высоты, включающей, в числе прочего, обучение технике подъёма на высоту и приёмам предохранения от падения; осмотр, техническое обслуживание и замену средств защиты от падения, а также действия по спасению повисших работников;
- Разработка критериев использования системы полной защиты от падения (обычно при работе на высоте более 2 м над рабочей поверхностью; иногда, в зависимости от вида работ, это значение может увеличиваться до 7 м). Система защиты от падения должна соответствовать конструкции опоры и характеру необходимых перемещений, включая подъем, спуск и позиционное перемещение;
- Установка на элементах башен креплений, облегчающих использование систем защиты от падения;

⁸ Комплексный свод руководящих указаний по безопасным методам производства работ в период строительства, эксплуатации и технического обслуживания морских ветрогенераторов содержится в документе Ассоциации ветроэнергетики Великобритании (BWEA, 2005).

- Обеспечение работников надлежащими индивидуальными страховочными системами для высотных работ. Соединительные элементы на страховочных системах должны быть совместимы с элементами башен, к которым они присоединяются;
- Обеспечение соответствия подъёмно-транспортного и грузоподъёмного оборудования необходимым параметрам и его техническое обслуживание, а также надлежащее обучение машинистов управлению таким оборудованием;
- Предохранительные пояса должны быть изготовлены из нейлоновых веревок двойной свивки диаметром не менее 16 мм (5/8 дюйма) или материала равноценной прочности. Вереочные предохранительные пояса необходимо заменять до появления признаков старения или заметного изнашивания волокон;
- При работе на высоте с механическим инструментом работники должны использовать второй (страховочный) предохранительный пояс;
- До начала работ с опор или сооружений следует удалить вывески и иные препятствия;
- Для подъёма и спуска инструментов или материалов для работников, ведущих высотные работы на сооружениях, следует использовать сумку для инструментов установленного образца;
- Избегать проведения работ по монтажу или техническому обслуживанию башен в неблагоприятных погодных условиях, особенно если существует риск ударов молнии.
- До начала работ должен быть введен в действие план оценки риска и управления им в части состояния моря, ветрового режима и погодных условий;
- При выполнении работ над водой или вблизи воды, сопряженных с риском утопления, работникам надлежит использовать спасательные средства установленного образца (например, спасательные пояса, надувные жилеты, поплавковые спасательные тросы, спасательные круги);
- Надлежит провести инструктаж работников о необходимости избегать водяных брызг и контакта с волнами;
- Подготовить соответствующие плавсредства и квалифицированный персонал, обученный управлению плавсредствами и ведению спасательных работ.

1.3 Охрана здоровья и обеспечение безопасности местного населения

Факторы риска для здоровья и безопасности местного населения, возникающие при строительстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации наземных и морских ветроэнергетических установок, сходны с возникающими на других крупных промышленных и инфраструктурных объектах. К ним могут относиться конструктивная безопасность объектов инфраструктуры проекта, безопасность жизнедеятельности и пожарная безопасность, доступность объекта неопределённому кругу лиц и чрезвычайные ситуации; вопросы управления этими факторами риска рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

К специфическим факторам риска для здоровья и безопасности местного населения, характерным для объектов ветроэнергетики, в первую очередь, относятся:

Работы над водой

В дополнение к базовым принципам, описанным выше в разделе, посвященном высотным работам, контрольно-профилактические меры, связанные с обеспечением безопасности работ над открытой водой, включают следующее:

- Безопасность судоходства и воздушного движения
- Отрыв лопастей и льда
- Электромагнитные помехи и излучение
- Доступ населения на объекты

Безопасность судоходства и воздушного движения⁹

В высшей точке траектории лопасти ветроколеса её внешний край может возвышаться над поверхностью земли или моря более чем на 100 метров. В случае размещения ветроэлектростанций вблизи аэропортов или известных коридоров воздушного движения они могут напрямую повлиять на безопасность полётов, поскольку могут оказаться причиной столкновения воздушных судов или изменения траектории полёта. Аналогичным образом, в случае размещения ветрогенераторов вблизи портов, гаваней или известных судоходных коридоров они могут напрямую повлиять на безопасность судоходства, поскольку могут оказаться причиной столкновения судов или изменения трассы их движения.

К числу мер профилактики и контроля, направленных на нейтрализацию этого воздействия, относятся:

- Проведение, в соответствии с правилами обеспечения безопасности судоходства и воздушного движения, консультаций с государственными органами управления судоходством и воздушным движением;
- При наличии технико-экономической возможности, недопущение размещения ветроэлектростанций вблизи аэропортов и портов либо в пределах известных диапазонов изменения траектории полёта или судоходных коридоров;

- Размещение на башнях и лопастях сигнальных огней и опознавательных знаков для предупреждения столкновений.

Отрыв лопастей и льда

Дефект лопасти ветроколеса или её обледенение может привести к отрыву лопасти либо срыву с неё льда¹⁰, что способно негативно сказаться на безопасности населения, хотя риск срыва льда характерен лишь для районов с холодным климатом, а риск отрыва лопасти, в целом, крайне низок¹¹.

Для нейтрализации последствий отрыва лопастей применяется следующий комплекс мер:

- Определяется безопасное расстояние, ветроэлектростанции проектируются и размещаются таким образом, чтобы на возможных направлениях и в пределах возможных зон разлёта лопастей отсутствовали строения или населенные пункты. Маловероятно, что такое безопасное расстояние превысит 300 метров, хотя оно и может варьироваться в зависимости от размера, формы, веса и скорости ветроколеса, а также высоты турбины^{12,13};
- Ветрогенераторы оснащаются вибродатчиками, способными отреагировать на любой дисбаланс лопастей ветроколеса и, при необходимости, отключить ветрогенератор;
- Регулярно проводится техническое обслуживание ветрогенератора;

⁹ Международное руководство по предупредительной разметке для целей обеспечения безопасности судоходства опубликовано МАМС (IALA, 2004). Пример предупредительной разметки для целей обеспечения безопасности воздушного движения можно найти в документе CASA (2004).

¹⁰ Вероятность удара деталью турбины или осколками льда на расстоянии 210 м составляет 1:10,000,000. (Taylor and Rand, 1991)

¹¹ По имеющимся данным, обнаруживаемые на земле осколки льда по большей части весят от 0,1 до 1 килограмма и располагаются на расстоянии от 15 до 100 метров от ветрогенератора. (Morgan et al. 1998)

¹² Более подробную информацию по различным аспектам определения безопасных расстояний см. у Larwood (2005).

¹³ Taylor and Rand (1991).

- Устанавливаются знаки, предупреждающие население об опасности.

Для нейтрализации последствий срыва льда применяется следующий комплекс мер¹⁴:

- Во время образования наледи работа ветрогенераторов прекращается;
- В радиусе не менее 150 метров от ветрогенератора устанавливаются предупреждающие знаки;
- Ветрогенераторы оборудуются нагревательными устройствами и датчиками льда;
- Ветрогенераторы изготавливаются из морозостойких сортов стали;
- Применяются синтетические смазочные материалы, предназначенные для использования при низких температурах;
- Применяются лопасти со фторэтановым покрытием черного цвета;
- По возможности, обеспечивается подогрев всей поверхности лопасти; в противном случае, устанавливаются обогреватели передней кромки лопасти шириной не менее 0,3 м.

Электромагнитные помехи

Ветрогенераторы потенциально способны создавать электромагнитные помехи авиационным РЛС и телекоммуникационным системам (например, микроволновой связи, телевидению и радио). Существует три основных механизма создания таких помех, а именно, эффект в ближнем поле, дифракция, а также отражение или рассеяние^{15,16}. Характер возможного воздействия зависит,

прежде всего, от местоположения ветрогенератора относительно передатчика и приёмника, свойств лопастей ветроколеса, частоты сигнала, свойств приёмника и особенностей распространения радиоволн в атмосфере в данной местности¹⁷.

Авиационные РЛС

В случае размещения ветроэлектростанции вблизи аэропорта она может повлиять на функционирование авиационных РЛС, вызывая искажение сигналов, что может выразиться в потере сигнала либо неверном отображении объектов на экране радара. Причинами этих эффектов являются отражение сигнала от башни и компонентов ветроколеса, а также импульсная модуляция сигнала¹⁸.

К числу мер профилактики и контроля, направленных на нейтрализацию этого воздействия, относятся:

- Изучение возможностей применения при установке элементов ветроэнергетического оборудования таких конструктивных решений, которые сводили бы к минимуму помехи радиолокационному оборудованию: сюда относятся форма башни ветрогенератора, форма и материал гондолы, применение радиопоглощающих покрытий, не создающих электрических возмущений (например, изготовление лопастей ветроколеса из

турбина либо препятствует прохождению сигнала между передатчиком и приёмником, либо отражает его.

¹⁷ Sengupta and Senior (1983).

¹⁸ Отражение от башни: металлические башни ветрогенераторов способны отражать существенную долю передаваемого радаром сигнала, что ухудшает качество опознавания воздушных судов вблизи башни ветрогенератора. Отражение от компонентов ветроколеса: вращение лопастей создаёт эффект «блеска лопастей» - так описывается сильный отражённый сигнал радара от лопастей ветроколеса. Риск возникновения такого эффекта весьма низок, а в случае его возникновения продолжительность его невелика. Помехи радару могут создавать и вращающиеся детали внутри гондолы (например, валы и генераторы). Импульсная модуляция сигнала: вращение лопастей может вызывать импульсную модуляцию сигнала, проходящего сквозь плоскость ветроколеса; происходит это потому, что лопасти ветроколеса периодически глушат сигналы РЛС, отражающиеся от расположенных позади ветроколеса объектов (AWEA, 2004a).

¹⁴ Laakso et al. (2003).

¹⁵ Bacon (2002).

¹⁶ Эффект в ближнем поле – способность ветровой турбины создавать помехи вследствие образования электромагнитных полей при работе генератора и коммутационного оборудования. Дифракция имеет место, когда ветровая турбина не только отражает сигналы систем электросвязи, но и поглощает их. Отражение и рассеяние имеют место, когда ветровая

эпоксидного или полиэфирного пластика, армированного стекловолокном);

- Изучение различных возможностей расположения ветроэлектростанции, включая топологию и размещение турбин и изменение трасс воздушного движения;
- Изучение возможности изменения системы радиолокационного покрытия, включая изменение местоположения РЛС, подвергающейся воздействию помех, запыление приёмника при сканировании проблемной области, либо использование для сканирования проблемной области альтернативных РЛС¹⁹.

Телекоммуникационные системы

К числу мер профилактики и контроля, направленных на преодоление воздействия на телекоммуникационные системы, относятся:

- Изменение схемы размещения ветрогенераторов во избежание создания непосредственных физических помех работе систем прямой связи;
- Установка направленной антенны²⁰;
- Модификация имеющейся антенны;
- Установка усилителя радиосигнала²¹.

Телевидение

К числу мер профилактики и контроля, направленных на преодоление воздействия на передачу телевизионного сигнала, относятся:

- Размещение ветрогенераторов за пределами прямой видимости передатчиков;
- Установка неметаллических лопастей;

- Если в процессе эксплуатации выявлен факт создания помех:

- Установка более качественной или направленной антенны;
- Ориентация антенны на альтернативный телевизионный передатчик;
- Установка усилителя;
- Перенос антенны в иное место;
- Если воздействию помех подвергается обширный район – рассмотрение возможности постройки нового ретранслятора²².

Доступ населения на объекты

В связи с доступом населения к ветрогенераторам (например, несанкционированным подъёмом на турбину) или к электроподстанции ВЭС возникают проблемы обеспечения безопасности.

К числу мер профилактики и контроля, направленных на решение проблем доступа населения на объекты ветроэнергетики, относятся:

- Установка ворот на подъездных путях;
- Обнесение территории ВЭС или отдельных ветрогенераторов забором с целью предотвратить нахождение граждан вблизи ветрогенераторов;
- Закрытие доступа к лестницам, ведущим на башни ветрогенераторов;
- Установка досок объявлений с разъяснением характера опасности для населения и контактной информацией на случай чрезвычайных обстоятельств.

¹⁹ AWEA (2004a).

²⁰ AWEA (2004b).

²¹ URS (2004).

²² AWEA (2004b).

2.0 Показатели эффективности и мониторинг

2.1 Охрана окружающей среды

Нормативы выбросов и сбросов

В процессе эксплуатации объектов ветроэнергетики технологические выбросы и сбросы обычно не образуются. Значения нормативов выбросов и сбросов, образующихся при технологических процессах в данной отрасли, отражают надлежащую международную отраслевую практику, отраженную в соответствующих стандартах стран с пользующейся признанием нормативной базой. Вопросы выбросов в атмосферу, сброса сточных вод и образования твердых отходов в связи с работами по строительству и выводу из эксплуатации рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Нормативы шума

Шумовое воздействие не должно превышать уровни, представленные в **Общем руководстве по ОСЗТ**, или приводить к повышению показателей шумового фона более чем на 3 дБ в ближайшей точке месторасположения реципиента.

Однако уровень шума, издаваемого ветроэлектростанциями, имеет свойство возрастать по мере усиления ветра, равно как и уровень фоновых шума, источником которого является сопротивление складок местности потоку воздуха. Кроме того, усиление скорости ветра может скрадывать повышение уровня шума, издаваемого ветроэлектростанцией, а скорость и направление ветра могут влиять на направление и степень распространения шума. Поэтому эти факторы следует учитывать при применении значений нормативов по уровню шума и оценке уровня фонового шума.

Кроме того, может возникнуть необходимость учета дополнительного раздражителя, которым является импульсный или тональный характер шума (звук определенной частоты, подобный музыкальным тонам), издаваемого ВЭС с определённым расположением ветрогенераторов²³.

Мониторинг состояния окружающей среды

Программы мониторинга состояния окружающей среды для данной отрасли следует выстраивать с учетом необходимости охвата всех видов деятельности, у которых выявлен потенциал существенного воздействия на состояние окружающей среды как в нормальном, так и в нештатном режиме. Мониторинг состояния окружающей среды следует вести по прямым или косвенным показателям выбросов, сбросов и использования ресурсов, применимым к данному проекту.

Что касается мониторинга смертности и увечий птиц и рукокрылых от столкновений с ветровыми турбинами, то наиболее распространённым его способом является поиск трупов птиц, включая целые трупы, частично сохранившиеся останки и перья²⁴.

В дополнение к этому, следует организовать пространственный и временной мониторинг морской среды вокруг морских ВЭС по таким параметрам, как бентические организмы, млекопитающие и рыбы. В число наблюдаемых параметров могут входить бентическая фауна (донные отложения и бентические сообщества), местообитания на твердом субстрате, рыбы, песчанка (биологический вид-индикатор изменения свойств донных отложений), птицы и

²³ В некоторых странах и территориях к прогнозируемому уровню шума прибавляют «штрафную надбавку» в 5 дБ(А).

²⁴ Более подробную информацию о мониторинге столкновений птиц и рукокрылых с ветрогенераторами см. в документе Brett Lane & Assoc. (2005). Дополнительные сведения можно также получить из документа Министерства охраны окружающей среды Канады (2005).

морские млекопитающие (тюлени и обыкновенная морская свинья).

Частота проведения мониторинга должна быть достаточной для получения репрезентативных данных по параметру, мониторинг которого проводится. Мониторинг должен осуществляться специально подготовленными лицами, в соответствии с процедурами мониторинга и учета данных, и с использованием должным образом поверенного и исправного оборудования. Данные мониторинга следует регулярно анализировать и изучать, сопоставляя их с действующими стандартами в целях принятия, при необходимости, мер по исправлению ситуации. Дополнительные указания по применимым методикам забора проб и анализа выбросов и сбросов содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

2.2 Охрана труда и техника безопасности

Указания по охране труда и технике безопасности

Соблюдение норм охраны труда и техники безопасности следует оценивать на основании опубликованных международных рекомендаций по показателям воздействия вредных производственных факторов, примерами которых являются, в частности, указания по значениям пороговых пределов (TLV®) воздействия на рабочем месте и показателям биологического воздействия (BEIS®), публикуемые Американской конференцией государственных специалистов по гигиене труда (ACGIH)²⁵, Карманный справочник по источникам химической опасности, публикуемый Национальным исследовательским институтом техники безопасности и охраны труда (NIOSH) Соединенных Штатов Америки²⁶, показатели допустимых уровней воздействия (ДУВ), публикуемые Управлением

охраны труда (OSHA) Соединенных Штатов Америки²⁷, индикативные показатели предельно допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны, публикуемые странами – членами Европейского союза²⁸, или данные из иных аналогичных источников.

Показатели травматизма и частота несчастных случаев со смертельным исходом

Исполнителям проектов следует стремиться к полному искоренению несчастных случаев на производстве с участием занятых в проекте работников (нанятых непосредственно исполнителями проекта либо субподрядчиками), особенно несчастных случаев, способных привести к потере рабочего времени, инвалидности различной степени тяжести или даже смертельному исходу. Показатели частоты несчастных случаев на объекте можно сопоставлять с опубликованными показателями предприятий данной отрасли в развитых странах, которые можно получить из таких источников, как, например, Бюро трудовой статистики США и Инспекция по промышленной гигиене и охране труда Соединенного Королевства²⁹.

Мониторинг соблюдения норм охраны труда и техники безопасности

Следует вести мониторинг рабочей среды на наличие вредных производственных факторов, характерных для конкретного проекта. Процесс мониторинга должны разрабатывать и осуществлять уполномоченные специалисты³⁰ в рамках программы мониторинга соблюдения норм охраны труда и техники безопасности.

²⁷ См. http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARD&p_id=9992

²⁸ См. http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

²⁹ См. <http://www.bls.gov/iif/> и <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

³⁰ К таким уполномоченным специалистам могут относиться сертифицированные специалисты по промышленной гигиене, дипломированные специалисты по гигиене труда, сертифицированные специалисты по охране труда или специалисты аналогичной квалификации.

²⁵ См. <http://www.acgih.org/TLV/>

²⁶ См. <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

Предприятиям следует также вести журналы учета случаев производственного травматизма и профессиональных заболеваний, а также опасных ситуаций и несчастных случаев. Дополнительные указания по программам мониторинга соблюдения норм охраны труда и техники безопасности содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

3.0 Справочная литература и дополнительные источники информации

AWEA (Australian Wind Energy Association). 2002. Best Practice Guidelines for Implementation of Wind Energy Projects in Australia. AWEA (Australian Wind Energy Association). 2004a. Wind Farm Safety in Australia. Fact Sheet.

AWEA (Australian Wind Energy Association). 2004b. The Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Field Implications for Wind Farms in Australia. Fact Sheet.

AWEA (Australian Wind Energy Association). 2004c. Wind Farm Siting Issues in Australia. Fact Sheet.

Bombace, G. 1997. Protection of Biological Habitats by Artificial Reefs. In A.C. (ed) European.

Brett Lane & Assoc. 2005. Interim Standards for Assessing Risks to Birds from Wind Farms in Australia. Australian Wind Energy Association.

BWEA (British Wind Energy Association). 1994. Best Practice Guidelines for Wind Energy Development.

BWEA (British Wind Energy Association). 2005a. Guidelines for Health and Safety in the Wind Energy Industry.

BWEA (British Wind Energy Association). 2005b. BWEA Briefing Sheet: Wind Turbine Technology.

BWEA (British Wind Energy Association). 2005c. BWEA Briefing Sheet: Off-shore Wind.

BWEA (British Wind Energy Association). 2005d. BWEA Briefing Sheet: Wind Power and Intermittency: The Facts.

CASA (Civil Aviation Safety Authority). 2004. Obstacle Lighting and Marking of Wind Farms AC 139-18(0).

Contra Costa County (California). 1996. Municipal Code (Wind Energy Conversion Systems) Article 88-3 Section 612.

CWA (Cape Wind Associates, LLC). 2004. Cape Wind Energy Project Draft Environmental Impact Statement.

Elsam Engineering A/S. 2005. Elsam Offshore Wind Turbines—Horns Rev Annual Status Report for the Environmental Monitoring Program January 1–December 2004.

Environment Canada. 2005. Wind Turbines and Birds—A Guidance Document for Environmental Assessment, Final Draft. Canadian Wildlife Service.

Erikson, W.P., et al. 2001. Avian Collision with Wind Turbine: A Summary of Existing Studies and Comparisons to Other Sources of Avian Collision Mortality in the U.S. A National Wind Coordinating Committee Resource Document. Western Ecosystems Technology, Inc.

European Wind Energy Association. European Best Practice Guidelines for Wind Energy Development.

Gardner, P., A. Garrad, P. Jamieson, H. Snodin, G. Nicholls, and A. Tindal. 2003. Wind Energy—The Facts. Volume 1 Technology. European Wind Energy Association (EWEA).

Gipe, P.B. 1995. Wind Energy Comes of Age. New York: John Wiley and Sons.

IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities). 2004. IALA Recommendation O-117 on the Marking of Offshore Wind-farms Edition 2.

Irish Wind Energy Association. Wind Energy Development Best Practice Guidelines.

Laakso, T., H. Hottinen, G. Ronsten, L. Tallhaug, R. Horbaty, I. Baring-Gould, A. Lacroix, E. Peltola, and B. Tammelin. 2003. State-of-the-art of Wind Energy in Cold Climates.

Larwood, S. 2005. Permitting Setbacks for Wind Turbines in California and Blade Throw Hazard. Prepared for California Wind Energy Collaborative. Report Number CWEC-2005-01.

Lowther, S. 2000. The European Perspective: Some Lessons from Case Studies. Proc. National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, CA, May 1998. National Wind Coordinating Committee, Washington, DC.

Morgan, C., E. Bossanyi, and H. Seifert. 1998. Assessment of Safety Risks Arising from Wind Turbine Icing. Proceeding of the International Conference, Wind Energy Production in Cold Climate, BOREAS IV, held at Hetta, Finland, March 31–April 2, 1998. Published by Finnish Meteorological Institute.

Natural Resources Canada. 2003. Environmental Impact Statement Guidelines for Screenings of Inland Wind Farms under the Canadian Environmental Assessment Act.

NWCC (National Wind Coordinating Committee). 1999. Methods for Studying Energy/Bird Interactions. A Guidance Document.

NWCC (National Wind Coordinating Committee) Siting Committee. 2002. Permitting of Wind Energy Facilities. A Handbook.

Ontario, Ministry of the Environment. 2004. Interpretation for Applying MOE Technical Publication to Wind Turbine Generators.

Sengupta, D. and T. Senior. 1983. Large Wind Turbine Siting Handbook: Television Interference Assessment, Final Subcontract Report.

State of Wisconsin. 2003. Draft Model Wind Ordinance for Wisconsin.

Taylor, D. and M. Rand. 1991. How to Plan the Nuisance out of Wind Energy. Town and Country Planning 60(5): 152-155.

United Kingdom. Department of Trade and Industry. 1997. Report ETSU-R-97, The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms.

URS (URS Australia Pty. Ltd.). 2004. Woodlawn Wind Farm Environmental Impact Statement.

Westerberg, H. 1999. Impact Studies of Sea-based Windpower in Sweden.
Technische Eingriffe in Marine Lebensraume.

Winkelman, J.E. 1995. Bird/wind Turbine Investigations in Europe. Proc. of Na-
tional Avian-Wind Planning Meeting, Denver, CO, July 1994.

Приложение А: Общее описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли

В основе проектов преобразования энергии ветра лежит использование силы природного ветра и преобразование её в электрическую энергию. В последние 20 лет количество подобных проектов генерации энергии и их значимость как источника возобновляемой энергии постоянно растёт. Эти проекты могут осуществляться как на суше, так и в море. Основным фактором в определении расположения будущей ветроэлектростанции является наличие значительных ветровых ресурсов. Анализ использования ветровых ресурсов проводится для того, чтобы оценить характеристики ветра до выбора места строительства, проектирования и строительства ветроэлектростанции. К числу прочих факторов относятся финансовые затраты на строительство, доступ к линиям электропередач, состояние окружающей среды, землепользование и поддержка со стороны местного населения.

В сфере ветроэнергетики, как и в других отраслях промышленности, «жизненный цикл» проекта состоит из следующих этапов: анализа использования ветровых ресурсов, строительства, ввода в действие, эксплуатации, вывода из эксплуатации. Мероприятия, обычно характерные для этапа строительства, включают строительство новых или ремонт уже имеющихся подъездных путей, подготовку строительной площадки, подвоз деталей ветровых турбин и монтаж основных элементов ветроэлектростанции (например, анемометров, ветровых турбин, трансформаторов, подстанций). Мероприятия по выводу из эксплуатации зависят от предложений по дальнейшему использованию этого участка, однако, как правило, в их число входят ликвидация элементов инфраструктуры (например, турбин, подстанций, дорог) и рекультивация земель, использовавшихся для нужд проекта, в том числе восстановление растительного

покрова (применительно к проектам, реализованным на суше). В следующем разделе представлено описание объектов и мероприятий, характерных для сооружения и эксплуатации как наземных, так и морских ветроэлектростанций. Характерные особенности проектов морских ветроэлектростанций описаны ниже в отдельном подразделе.

Объекты и мероприятия, характерные для сооружения и эксплуатации как наземных, так и морских ветроэлектростанций

Ветровые турбины, как правило, обращены лопастями к ветру, а гондола и башня располагаются позади; размещают турбины так, чтобы одна турбина не препятствовала отбору энергии ветра, осуществляемому другой турбиной. В более крупных ветроэлектростанциях турбины обычно располагаются группами или выстраиваются в линию перпендикулярно преобладающему направлению ветра, или же располагаются по контуру возвышенностей, где скорость ветра более высока. Основным фактором, определяющим расстояние между турбинами на ветроэлектростанции являются скорость и турбулентность воздушного потока. По общему эмпирическому правилу, расстояние между соседними турбинами, расположенными по направлению ветра, равняется 5-7 диаметрам ротора. Размер участка, необходимого для размещения ветроэлектростанции, зависит от планируемого количества турбин; тем не менее, фактическая площадь земельных угодий, нарушаемых вследствие размещения ветроэлектростанции (например, участок, необходимый для турбин и подъездных путей), значительно меньше общей площади участка, занимаемого под нужды проекта. Например, типичная ветроэлектростанция с 20 турбинами может располагаться на участке площадью в 1 квадратный километр, однако

фактически будет использоваться, по всей вероятности, лишь 1 процент этого земельного участка³¹.

Ветроэнергетический проект состоит из следующих структурных компонентов: ветровых турбин, трансформаторов, подземных кабелей-коллекторов, соединяющих ветровые турбины между собой, подстанций и воздушных линий электропередачи для подключения ветроэлектростанции к существующей энергосистеме, а также подъездных путей (рисунок А-2). Ветровые турбины располагаются с определенными интервалами, чтобы максимально использовать потенциал ветровой энергии при использовании минимального пространства. Основными факторами при определении расстояния между турбинами являются скорость и турбулентность воздушного потока. Как правило, расстояние между ветровыми турбинами составляет от 3 до 5 диаметров ветроколеса перпендикулярно преобладающему направлению ветра, а по преобладающему направлению ветра – от 5 до 7 диаметров ветроколеса³². В некоторых странах и территориях минимальное рекомендованное расстояние между ветровыми турбинами составляет 200 метров, чтобы не мешать пролету птиц между турбинами³³. Если расстояние между турбинами по преобладающему направлению ветра меньше 5 диаметров ветроколеса, весьма вероятны значительные потери энергии из-за образования турбулентного следа³⁴.

Ключевым компонентом ветроэлектростанции является ветрогенератор, или ветровая турбина: она обеспечивает использование энергии ветра и преобразование её в электрическую энергию. Доминирующим типом ветрогенератора традиционно является работающая на постоянной скорости горизонтально-осевая трехлопастная

ветровая турбина с пассивным регулированием угла заклинивания. Конструкция второго по распространенности типа ветрогенератора сходна с вышеописанной, однако содержит систему управления наклоном либо активную систему управления углом атаки. Расчетная номинальная мощность ветровых турбин постоянно росла – с 50 киловатт в 1980 году до 5 мегаватт в 2003 году, а средняя мощность наземных ветрогенераторов составила в 2005 году 2 мегаватта³⁵. Увеличение генерирующей мощности ветровых турбин привело к увеличению диаметра ветроколеса и высоты башни.

Турбина состоит из фундамента, башни, гондолы, лопастей, втулки ротора и сигнальных огней (рисунок А-1). Башня крепится к фундаменту, который при размещении ветрогенератора на суше представляет собой толстую железобетонную плиту от 12 до 15 метров длиной и от 2 до 3 метров толщиной³⁶.

Чтобы поймать ветер, лопасти располагают над землей, на башне. Башни турбин чаще всего представляют собой остrokонечные цилиндры, обычно изготовленные из стали, а высота их колеблется от 25 до 100 метров и более. Обычно их красят в светло-серый цвет, однако на них также могут наноситься другим цветом опознавательные знаки в целях обеспечения безопасности движения воздушного и морского транспорта (если речь идет о морских установках), в зависимости от действующих в той или иной стране требований.

Большая часть лопастей изготавливается из полиэфирного стеклопластика, термопластических материалов или эпоксидных смол (в настоящее время преобладают именно смолы на эпоксидной основе). В качестве добавки все шире используют углеродное волокно. Эти материалы обладают

³¹ AWEA 2004c.

³² AWEA 2004c.

³³ EC 2005.

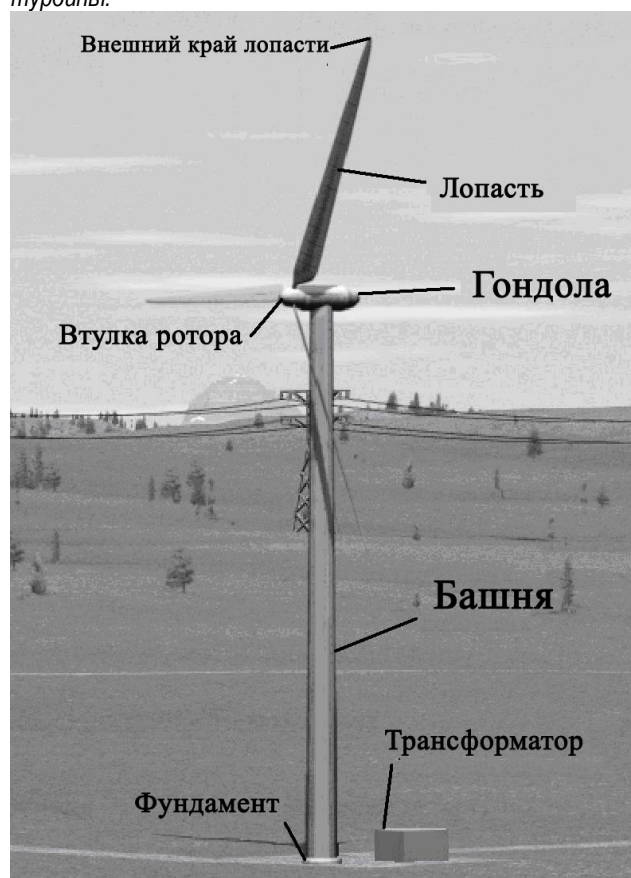
³⁴ Gardner et al. 2003.

³⁵ Gardner et al. 2003.

³⁶ AWEA 2004d.

высокой прочностью, легкостью и гибкостью. За последние 40 лет диаметр ветроколеса вырос с 24 метров (1960 год) до 114 метров (2003 год)³⁷. Фактически во всех современных ветрогенераторах лопасти вращаются по часовой стрелке (с точки зрения наблюдателя, стоящего лицом к ветрогенератору, обращенному к нему втулкой ротора)³⁸. Диаметр ветроколеса наземного ветрогенератора обычно составляет от 60 до 80 м.

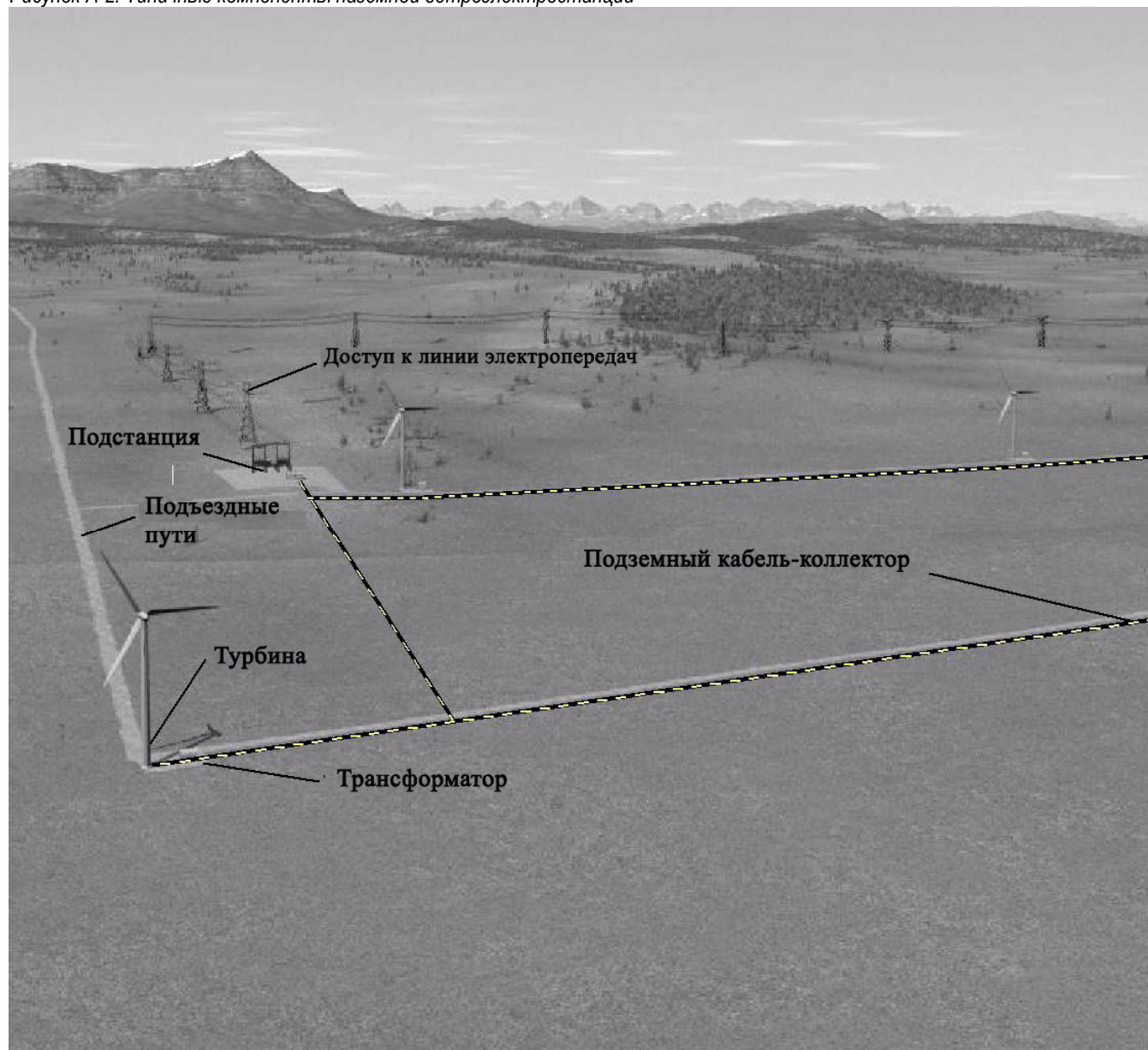
Рисунок А-1. Типичные элементы конструкции ветровой турбины.



³⁷ Gardner et al. 2003.

³⁸ AWEA 2004d.

Рисунок А-2. Типичные компоненты наземной ветроэлектростанции



Монтаж ветровой турбины на суше обычно состоит из следующих этапов: подготовки фундамента, монтажа башни, подъема ветроколеса, втулки ротора и гондолы на башню, и монтажа ветроколеса³⁹.

По мере возрастания скорости ветра лопасти начинают вращаться. Это вращение приводит в действие генератор

внутри гондолы, преобразуя, таким образом, часть энергии ветра в электрическую энергию. Большинство ветровых турбин начинают вырабатывать электричество при средней скорости ветра 3-4 м/с (10,8-14,4 км/ч), достигают максимальной производительности при скорости ветра около 15 м/с (54 км/ч), и прекращают работу во избежание возможных повреждений, когда скорость ветра достигает

³⁹ Gardner et al. 2003.

примерно 25 м/с (90 км/ч)⁴⁰. Максимальная скорость вращения конца лопасти может достигать приблизительно 89 м/с или 320 км/ч⁴¹. Существуют три основных способа ограничения мощности ветроколеса при высокой скорости ветра: управление углом заклинивания, система управления наклоном и динамическое изменение угла атаки. При управлении углом заклинивания отбор мощности ветроколесом контролируется аэродинамическими характеристиками лопастей. При высокой скорости ветра ветроколесо с управляемым углом заклинивания лопастей снижает обороты по достижении заранее установленной предельной мощности, определяемой аэродинамическими характеристиками лопастей. При использовании системы управления наклоном угол наклона лопастей можно изменять в пределах 90°, чтобы максимально увеличить отбор энергии ветра. По достижении предельной мощности угол наклона изменяется так, чтобы начался сброс энергии ветроколесом. Динамическое изменение угла атаки представляет собой сочетание управления углом заклинивания и наклоном: конструкция лопастей при этом подобна конструкции лопастей с управляемым углом заклинивания, но при этом их можно и поворачивать для изменения угла их наклона. Вплоть до 1990-х годов преобладающей стратегией было пассивное управление углом заклинивания, однако в настоящее время наиболее часто применяемыми способами ограничения мощности ветроколеса на больших турбинах стали динамическое изменение угла атаки и управление наклоном⁴².

Как правило, турбина вырабатывает электрическую энергию от 70 до 85 процентов времени своего действия⁴³. Энергия ветра пропорциональна кубу его скорости. Иными словами, увеличение скорости ветра вдвое приводит к

восьмикратному увеличению его энергии. Тем не менее, объем выработанной турбиной ветровой энергии изменяется не в той же самой пропорции, а пропорционален примерно квадрату скорости ветра. Напряжение тока, вырабатываемого ветровой турбиной, составляет, как правило, 700 вольт, чего недостаточно для передачи электроэнергии по ЛЭП⁴⁴. В связи с этим при каждой турбине устанавливается трансформатор для повышения напряжения до уровня, предусмотренного для данной сети распределения электроэнергии. Выработанная энергия передается на близлежащую подстанцию, которая собирает энергию со всех турбин на ветроэлектростанции. Соединение между трансформаторами при турбинах и подстанцией, а также между подстанцией и электрической сетью обеспечивается подземными или воздушными силовыми кабелями. В зависимости от планировки ветроэлектростанции трансформаторы при турбинах могут независимо друг от друга подключаться к подстанции, либо же турбины могут быть соединены между собой, а затем подключены к подстанции.

Проектный срок службы ветровой турбины составляет, в среднем, 20 лет, однако на практике на участках с низкой турбулентностью воздушного потока турбины могут прослужить и дольше. Лопасти конструируются по стандартам, отвечающим столь высоким требованиям, что они редко нуждаются в замене даже по истечении проектного срока их службы, в то время как трансмиссия, судя по опыту последних лет, может потребовать замены до истечения запланированного срока службы. Как правило, эксплуатация ветроэлектростанции не требует присутствия персонала непосредственно на объекте.

Техническое обслуживание проводится на протяжении всего срока службы ветровой турбины и занимает в

⁴⁰ BWEA 2005b.

⁴¹ NZWEA 2005.

⁴² AWEA 2004d.

⁴³ BWEA 2005d.

⁴⁴ BWEA 2005b.

среднем до 40 часов в год⁴⁵. Техническое обслуживание может включать ремонт турбины и ветроколеса, смазку деталей, полную профилактику генератора, и, по мере необходимости, техническое обслуживание электрических систем.

В процессе эксплуатации и технического обслуживания ветроэлектростанций, как правило, не происходит ни выбросов в атмосферу, ни сброса сточных вод. Жидкости и другие отходы, обычно образующиеся в процессе технического обслуживания, как правило, не хранятся на территории ветроэлектростанции, а удаляются согласно соответствующим региональным или национальным правилам и/или наилучшим методам удаления и обезвреживания отходов.

Специфика эксплуатации морских ветроэлектростанций

Компоненты конструкции и порядок эксплуатации морских и наземных ветроэлектростанций схожи. Основные различия между морскими и наземными турбинами заключаются в размере турбин, высоте башен турбин и размахе лопастей. Полная высота типичной морской ветровой турбины составляет от 100 до 120 метров, высота башни колеблется в среднем от 60 до 80 метров, а длина лопастей составляет от 30 до 40 метров⁴⁶. Еще одно отличие заключается в том, что на морских ветроэлектростанциях обычно используют заглубленные (подводные или подземные) кабели для передачи электричества с турбин на трансформатор и с трансформатора на подстанцию, расположенную на суше (Рисунок А-3).

Материалы, из которых изготавливают элементы конструкции ВЭС (например, башни), подобны используемым в наземных ВЭС, однако для того, чтобы

адаптировать конструкции к морской среде, используются некоторые иные методики, в том числе нанесение на металлические детали антикоррозионного покрытия, использование герметичных гондол, иная конструкция оснований / башен с тем, чтобы они выдерживали воздействие ветра, волн, морских течений, приливов и отливов, морского дна (см. Рисунок А-2), а также обустройство специальных ремонтных платформ для технического обслуживания.

Обычно морские ветроэлектростанции строят на относительно мелководье, там, где глубина меньше 30 метров. Установки размещаются на разном расстоянии от берега: выбор их местоположения определяется сочетанием технологических потребностей (например, характеристик воздушных потоков) и ограничивающих факторов (например, проблем охраны окружающей среды, таких, как отрицательное воздействие на пейзаж).

Монтаж ветровой турбины на море обычно состоит из следующих этапов: сооружения основания турбины, доставки по морю компонентов турбины, монтажа башни, подъема гондолы и ветроколеса на башню, и монтажа ветроколеса и гондолы.

В зависимости от условий размещения морских ветрогенераторов они могут монтироваться на следующих видах оснований:

- Односвайное основание: подходит для большинства условий, предпочтительно мелководье и не слишком толстый слой мягких осадочных отложений на дне;
- Трехсвайное основание: подходит для большинства условий, предпочтителен не слишком толстый слой мягких осадочных отложений на дне, подходит для глубин свыше 30 метров;

⁴⁵ Gardner et.al. 2003.

⁴⁶ BWEA 2005c.

- Бетонное основание гравитационного типа:
практически любые осадочные отложения;
- Стальное основание гравитационного типа:
практически любые осадочные отложения, подходит
для большей глубины, чем бетонное основание;
- Одноопорное кессонное основание: пески, мягкий
глинозем;
- Многоопорное кессонное основание: пески, мягкий
глинозем; подходит для большей глубины, чем
одноопорное основание; и
- Плавающая платформа – глубина до 100 метров.

Рисунок А-3. Типичные компоненты морской ветроэлектростанции

