

УДК 621

А.И. ШАКИРТОВ, студент гр.3185 (КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева)
Научный руководитель Р.Г. ИСАКОВ, к.т.н., доцент (КНИТУ-КАИ им. А.Н.
Туполева)
г. Казань

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Десятки или сотни турбин, стоящиеся вместе образуют ветроэлектростанции. В ветроэлектростанции вспомогательная инфраструктура турбин и эксплуатационные ресурсы могут быть общими. Близость турбин друг к другу добавляет сложности в том смысле, что они могут аэродинамически взаимодействовать друг с другом через свои каналы, что в целом снижает общую производительность станции по сравнению с выходом, если бы каждая турбина работала в отсутствие других [1]. В статье описываются факторы, которые учитываются при размещении, строительстве и обслуживании ветроэлектростанций как на суше, так и на море, а также влияние ветряных электростанций на их местную окружающую среду.

Турбины расположены в кластерах, обычно от 10 до 100, на ветроэлектростанциях. Это проекты с общей собственностью, скоординированным обслуживанием и одним или несколькими потребителями. Относительно новая береговая ветроэлектростанция в США может вместить 60 турбин мощностью три мегаватта, или в общей сложности 180 мегаватт номинальной мощности.

Разработчик ветра, выбирающий площадку для ветроэлектростанции, ищет площадку с высокой средней скоростью ветра и небольшим изменением скорости [1]. Устойчивое направление ветра также выгодно, поскольку оно позволяет размещать отдельные турбины внутри ветроэлектростанции, что сводит к минимуму укрытие, возникающее, когда турбина с подветренной стороны находится в кильватере турбины с подветренной стороны. Экологические и социальные последствия также имеют большое значение, включая воздействие на дикую природу, шум и эстетические проблемы. При принятии решений о размещении на шельфе учитываются судоходные пути, рыболовные угодья и другие виды использования моря.

Ветер на любом потенциальном участке лучше всего оценивать на высоте, на которой будет расположена ступица ветряной турбины, и с учетом наличия поверхностных препятствий, таких как здания и деревья. Как правило, для получения этих измерений устанавливается временная

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

135-2

18-20 ноября 2021 года

метеорологическая мачта, которая сравнивается с данными с близлежащих объектов и более долгосрочными записями. Позже на выбранном участке будет установлена постоянная мачта для мониторинга текущей производительности.

Когда еще нет надлежащей вспомогательной инфраструктуры, необходимо построить дополнительную инфраструктуру. Для наземных объектов это может повлечь за собой строительство дорог, а для морских объектов для этого потребуются порты и суда. Адекватность и доступность имеющихся линий электропередачи особенно важны и могут повлиять на сроки и размеры предлагаемых ветроэлектростанций.

Решения о размещении береговых турбин часто включают переговоры с несколькими владельцами земли, которые должны предоставлять аренду или сервитут и, как правило, получать лицензионные платежи за использование земли. Если права на достаточно большой смежный участок земли не могут быть приобретены, планируемая ферма может стать двумя фермами с землей между ними, которая не является частью ни одной из ферм.

Оффшорные ветроэнергетические проекты составляют все большую долю всех ветроэнергетических проектов. Ветры, как правило, более сильные и устойчивые на море, что приводит к более высокому коэффициенту мощности ветроэлектростанции. Ветряные турбины могут быть сделаны больше на море, чем на суше, потому что размер береговой турбины ограничен трудностями с автомобильным транспортом. Ветроэлектростанции часто могут располагаться ближе к прибрежным городам, чем их наземные аналоги. Со временем, как и при бурении на шельфе для добычи нефти и газа, можно ожидать постепенного продвижения в более глубокие воды, потому что будут разработаны участки ближе к берегу и с более сильным ветром.

Расстояние между турбинами является важным фактором при проектировании ветроэлектростанции; оно будет определять общее количество турбин, которые может разместить площадка. Если турбины расположены излишне далеко друг от друга, земля используется неэффективно. Если турбины расположены слишком близко друг к другу, турбины испытывают большие колебания нагрузки от других турбин, что увеличивает затраты на техническое обслуживание станции и снижает ее выходную мощность. Ветряные электростанции предназначены для смягчения этих взаимодействий между турбинами, а также взаимодействий между ними.

Если на участке преобладает какое-либо направление ветра, турбины могут быть расположены в меньшем количестве рядов, обращенных к ветру, с большим количеством турбин в каждом ряду, и с меньшим расстоянием между рядами. Последовательные ряды турбин также могут быть выровнены

IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

135-3

18-20 ноября 2021 года

или расположены в шахматном порядке. В выровненной компоновке, где все турбины расположены непосредственно друг за другом, турбины после первого ряда имеют более низкую входящую скорость и, следовательно, вырабатывают меньше энергии. В шахматном порядке выходная мощность больше, потому что турбины испытывают только часть волн других турбин, но ветровая нагрузка на лопасти турбины более неравномерна, что увеличивает нагрузку на лопасти и другие компоненты турбины и увеличивает техническое обслуживание.

Управление ветроэлектростанцией осуществляется из центра управления, который обрабатывает информацию, полученную от метеорологического оборудования и сети датчиков на каждой турбине. Операторы площадки контролируют работу турбин и могут переопределять автоматизированную систему управления.

Выработка энергии ветром - это сложный процесс, включающий в себя множество элементов оборудования, включая как движущиеся, так и стационарные механические компоненты, и широкий спектр электрических систем. Одна из причин, по которой ветряные турбины объединены в ветроэлектростанции, заключается в том, чтобы сделать техническое обслуживание менее дорогостоящим. Ремонтные бригады могут быстро и легко переходить от одной турбины к другой, при выполнении планового технического обслуживания, обеспечивающего высокую эффективность и доступность работы турбин, или корректирующего технического обслуживания для устранения неисправностей при их возникновении [2]. (Доступность - это процент времени, в течение которого турбина доступна для выработки энергии по запросу.)

Частота технического обслуживания будет зависеть от типа оборудования и вероятности его выхода из строя, истории эксплуатации оборудования и возраста установки. Участки с суровыми зимами или сильными ветрами могут нуждаться в большем обслуживании, чем участки с менее экстремальными погодными условиями. Однако, поскольку все ветряные турбины подвержены часто меняющемуся ветру, каждая турбина требует регулярного технического обслуживания и проверок несколько раз в год. Регулярное техническое обслуживание гарантирует, что трансмиссия, генератор, различные подшипники и тормозная система находятся в хорошем состоянии и должным образом смазаны [2]. В дополнение к снижению вероятности выхода из строя это увеличивает срок службы турбины, точно так же, как замена масла помогает продлить срок службы транспортного средства. Лезвия очищаются, чтобы предотвратить шероховатость их поверхности из-за скопления мусора и насекомых; даже небольшая неровность формы лезвия оказывает негативное влияние на выходную мощность.

IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года

135-4

Затраты на техническое обслуживание снижаются по мере того, как ветряные турбины внедряют новые технологии. Например, камеры и датчики, установленные на дронах, используются для оценки повреждений лопастей, что в противном случае было бы опасным, дорогостоящим и трудоемким - учитывая неудобное расположение лопастей. Беспилотные летательные аппараты, доставляющие антифриз, также упрощают защиту лопастей от обледенения зимой. "Умные" лопасти со встроенными датчиками позволяют использовать передовые методы анализа данных для анализа выходной мощности турбины, дополняя визуальный контроль.

Автоматизация позволяет ремонтным бригадам работать в основном в течение дня и взаимодействовать с бригадами удаленного мониторинга, которые постоянно проверяют объект на наличие неисправностей и решают, когда вызывать ремонтные бригады по срочным вопросам. В некоторых случаях может быть нецелесообразно проводить техническое обслуживание сразу после выхода из строя детали.

Турбины на ветроэлектростанции не обязательно должны быть одинаковы. Эксплуатация только одного типа турбины на ферме сокращает время обучения оператора и количество запасных частей, которые необходимо иметь на складе. Упрощается эксплуатация и плановое техническое обслуживание. Тем не менее, некоторые ветроэлектростанции намеренно диверсифицируют типы установленных турбин, чтобы обеспечить непрерывную работу, когда конкретный тип турбины требует внимания, и для защиты от сбоев в обычном режиме. По мере того как сбор и мониторинг данных становятся более совместимыми в ветроэнергетике, упрощается управление ветроэлектростанцией с двумя или более типами турбин.

Техническое обслуживание морских турбин сложнее, чем наземных. Плохая погода может потребовать ожидания в течение нескольких дней или более, прежде чем ремонтная бригада сможет прибыть на место для ремонта после поломки. Поэтому выгодно значительно увеличить размеры морских турбин. Мощность типичной новой береговой турбины составляет три мегаватта по сравнению с шестью мегаваттами для морской турбины, а конструкции мощностью 12 мегаватт и выше могут стать морской нормой в ближайшем будущем.

Основным соображением для морских турбин по сравнению с береговыми турбинами является коррозия. Материалы, используемые для компонентов морской турбины, должны быть устойчивыми к коррозии или иметь прочные покрытия, что увеличивает затраты.

Ветряные электростанции во многом влияют на местную окружающую среду. Визуальное воздействие и шум особенно важны, но существуют также последствия микроклимата для сельского хозяйства и прямые пагубные последствия для других видов, в частности птиц и летучих мышей. Косвенные воздействия связаны с потреблением энергии, заложенной в

IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года

135-5

компонентах ветроэлектростанции и возникшей во время ее строительства. Проекты ветряных турбин на шельфе вскоре могут включать турбины мощностью 12 мегаватт. Лопасти одной такой турбины имеют длину 110 метров, а их башня - 150 метров в высоту, поэтому кончик лопасти простирается вверх на 260 метров. Если бы они располагались в 30 километрах от берега, вершины башен в дневное время, если смотреть с берега в ясный день, представляли бы собой короткие слабые прямые линии, торчащие вверх из океана. Огни на вершинах башен, предупреждающие самолеты, были бы видны с берега в ясную ночь.

Когда лопасти турбины врашаются, они генерируют пульсирующий звук как на слышимой, так и на не слышимой частотах. Звуковой компонент может негативно повлиять на здоровье, вызывая стресс, головные боли и беспокойный сон. Поскольку ветроэлектростанции, как правило, расположены в районах, вокруг которых нет больших сооружений (так как это препятствовало бы ветру), шум от турбины легко распространяется. Более того, шум от ветряной турбины усиливается, когда лопасти врашаются быстрее. В результате турбины проектируются с предельной частотой вращения.

Для строительства и эксплуатации ветроэлектростанции требуются вода и энергия. Затраты воды на энергию ветра минимальны во время строительства и эксплуатации – несколько ниже, чем для солнечной энергии, для которой требуется вода для изготовления солнечных элементов, и намного ниже, чем для энергии от угля, природного газа и атомной энергии, где электростанции используют воду как во время строительства, так и для охлаждения во время работы. Оценки окупаемости энергии зависят от конкретного участка, но обычно составляют около шести месяцев; турбины, работающие на большой мощности и при сильном ветре, как правило, имеют более короткие сроки окупаемости. Во время работы ветряные турбины не загрязняют воздух и не выделяют углекислого газа, за исключением незначительных выбросов на месте, связанных со вспомогательными операциями [3].

Поскольку ветряные турбины должны располагаться далеко друг от друга, чтобы одна турбина не оказывала отрицательного влияния на производительность другой, ветроэлектростанция занимает много земли. Однако уникально то, что ветроэлектростанция совместима со многими другими видами использования земли, включая сельское хозяйство и выпас скота. Ветряные электростанции изменяют землю значительно меньше, чем добыча угля, добыча нефти и газа, солнечные фермы или плантации биомассы.

По мере развития ветроэнергетики накапливается ценный опыт в отношении компромисса между поддержанием работы компонента и его заменой - как правило, компонентом, который является более эффективным и

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года**

135-6

требует меньшего обслуживания. Крупномасштабная замена, называемая “повторным питанием”, может включать замену основных компонентов турбины (лопастей, генератора) [3]. Развивается вторичный рынок для замененного оборудования, что позволяет компенсировать некоторые затраты на замену. Часть стали и меди будет использована повторно, а часть переработана.

Список литературы:

1. Шинкевич А.И., Зарайченко И.А. Повышение инновационной активности в энерго- и ресурсосбережении на основе концепции «Технологических окон возможностей». Вестник Казан. технол. ун-та, №9, 897-900 (2010).
2. Саликеева С.Н., Галеева Ф.Т. Обзор методов получения альтернативной энергии. Вестник Казан. технол. ун-та. Т.15, №8, 57-59 (2012).
3. Шейдлин А.Е. Новая энергетика. М.: Наука, 1987. - 463с.

Информация об авторах:

Шакиртов Алнур Ильнурович, студент гр.3185, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, 420111 г. Казань, ул. К. Маркса, 10, alnur_shakirtov@inbox.ru
Исаков Руслан Геннадьевич, к.т.н., доцент, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, 420111 г. Казань, ул. К. Маркса, 10, ruslanisakov@yandex.ru