

Экономическая эффективность увеличения высоты ВЭУ

Журнал «Renewable Energy World North America» Оклахома, США освещает этот вопрос.

Автор – доктор Дилип Хатри, URS Corp.

В ветровой индустрии прослеживается тенденция увлечения высоты и мощности ветрогенераторов. За последние 20 лет, высота их увеличилась с 40 до 90 метров, а единичная мощность достигла 2,5 МВт.

Есть все основания предполагать, что в XXI веке будут использоваться ветрогенераторы с единичной мощностью 4,0 МВт - 8,0 МВт и высотой башни более 100 метров.

Производительность ветровых установок растет при увеличении их высоты за счет увеличения скорости ветра.

В статье анализируется экономическая эффективность увеличения высоты ВЭУ, и приводится параметрическое исследование кривой зависимости мощности ВЭУ от высоты башни.

До каких пределов экономически выгодно увеличивать высоту и мощность турбины?

Финансовые показатели по этому вопросу изучаются, а в инженерных расчетах представлены выводы и даются рекомендации по проектированию будущих ветровых установок.

История ветроэнергетики начинается для нашего промышленного рынка в конце 1960-х. Тем не менее, энергия ветра существует уже более 500 лет, и имеются доказательства использования энергии ветра европейцами и даже жителями древнего Вавилона при производстве продуктов питания.

И все же обратим наше внимание на настоящее время.

Ветроэнергетика начиналась с башен высотой 40-50 метров, которые поддерживали турбины мощностью от 400 до 660 кВт. Эти конструкции были в основном выполнены в виде ферм, которые до сих пор встречаются в некоторых "ветровых колыбелях цивилизации", такие как Палм-Спрингс, Калифорния.

Многие из этих первоначальных конструкций по-прежнему работоспособны, хотя они и требуют частого технического обслуживания, а их турбины устарели.

Эти инженерные «динозавры» выступают в качестве краеугольного камня этапа современной ветроэнергетики. Внешне непривлекательные, они являются символом возникновения спроса на экологически чистую энергию.

С конца 1970-х до 1990-х годов в ветроэнергетике высота ВЭУ ограничивалась 50 метрами, а к концу 1990-х, - достигала 60-70 метров, при этом мощность турбин изменилась от 800кВт до 1 МВт.

Технология требовала большего диаметра ротора а, следовательно, и более высоких установок. В конечном итоге выяснилось, что дешевле построить меньше ветровых

генераторов большей мощности, поскольку это приведет к сокращению общей стоимости инфраструктуры.

Для того чтобы выдержать турбины мощностью 1,0 МВт и 1,5 МВт, было предложено выполнять башни ВЭУ в виде трубчатых стальных конструкций, что в свою очередь потребовало новых проектных решений, обеспечивающих устойчивость основания установки при дополнительной нагрузке. Эти трубчатые стальные конструкции стали основным техническим решением на рынке ветроэнергетики.

После 2000 года, рынок ветровых турбин стал развиваться и достиг нового уровня мощностей. В настоящее время возобновляемые источники энергии пользуются спросом, который растет с каждым днем. И новые технологии производства ветроустановок не должны отставать от общего развития индустрии.

Размеры турбины и спрос на чистую энергию

За последние 10 лет наблюдается заметное развитие новых технологий в производстве турбин из-за заниженного спроса на экологически чистые источники энергии во всем мире в этот период.

Сегодня мировой рынок возобновляемых источников энергии активно развивается и по прогнозам на ближайшие 10 лет перспективы развития достаточно радужные. Мощность турбин в среднем колеблется от 2,0 до 3,0 МВт для наземных проектов. В стадии разработки имеются турбины мощностью 4,0 и 5,0 МВт. Для них потребуются башни с минимальной высотой 80 м. На рынке ветрогенераторов, предназначенных для установки на суше, турбины мощностью 3,0 МВт и высотой башни 90м становятся стандартом.

Для морской ветроэнергетики, которая все еще находится в зачаточном состоянии во всем мире, минимальная мощность турбин составляет от 5,0 МВт до 7,0 МВт.

По мнению автора, рынок оффшорной ветроэнергетики будет продолжать свой рост, так как именно там были получены самые высокие показатели эффективности. Высокие мощности выливаются в более весомые финансовые показатели, что привлекает инвесторов, а, следовательно, и стимулирует приток большего капитала в отрасль.

Ветроиндустрия стоит на пороге роста. На сайте Американской ассоциации ветроэнергетики (AWEA) указано, что за 2009 было вновь установлено 8500 МВт мощностей на базе энергии ветра. Что эквивалентно примерно 9 средним атомным электростанциям.

Новые технологии в производстве турбин и факторы стоимости

Новые разрабатываемые турбины, мощностью 7,0 МВт и 10,0 МВт требуют диаметр ротора в 100 м и минимальную высоту башни также 100 м. Необходимо ответить на вопрос, что выгоднее - строительство малого количества мощных турбин или большого количества ветрогенераторов малой мощности. Простые математические вычисления ответят нам на этот вопрос.

Пример береговой ветроэнергетической станции мощностью 100 МВт:

25 установок по 4 МВт

25 установок по \$ 500 000/установка = \$12,5 млн. на конструкцию + основание

Дороги длиной в 10 миль по \$1.5 млн/миля = \$15 млн
Общая стоимость инфраструктуры = \$ 27,5 млн., или \$ 275000 / МВт
100 установок по 1 МВт
100 установок по \$ 350 000/установка = \$ 35 млн. на конструкцию + основание
Дороги длиной в 50 миль по \$1.5 млн/миля = \$75 млн
Общая стоимость инфраструктуры = \$ 110 000 000 или \$ 1100000 / МВт

Увеличивая высоту ВЭУ и мощность турбины, мы можем существенно снизить стоимость инфраструктуры в целом. Существуют многочисленные дополнительные преимущества меньшего количества установок, входящих в состав одного проекта:

- Меньше воздействия на окружающую среду в целом; меньше дорог, а, следовательно, и меньшая часть площадки занята строительными работами.
- Меньшее воздействие на почву за счет сокращения количества земляных работ.
- Частота вращения ротора более высоких агрегатов с турбинами большей мощности ниже (<15 об/мин), что означает меньший урон перелетным птицам (птицы могут проследить вращение нижней лопасти и изменить траекторию своего полета).
- Снижение количества турбин снижает и общие эксплуатационные расходы, так как легче контролировать работу 25 установок, чем 100.

Более высокие ВЭУ, которые становятся становящиеся основным участником на рынке ветроэнергетики, с высотой до 100 м и более, порождают новые, творческие решения инженеров. Некоторые фирмы применяют новаторские конструкции ветроагрегатов для своих установок. Основное внимание уделяется использованию базовой стальной трубчатой модели башни, но существуют и многочисленные альтернативные дизайнерские решения возведения башен, предусматривающих комбинированное использование стали и бетона. С увеличением высоты башен появляются некоторые технические проблемы, а также усложняется проектирование конструкции.

Ниже представлены 12 проблем, с которыми сталкиваются инженеры при проектировании ВИЭ:

Завышенная скорость турбины: турбины и ротор работают на скорости выше нормальной (> 24 об / мин) при скорости ветра более 50 миль / ч. Это приводит к чрезмерным нагрузкам и повышению вероятности падения конструкции.

Кнопка аварийного отключения: короткие остановки/остановки с резким торможением создают ударные нагрузки на систему, и как следствие возникновению резких динамических импульсных нагрузки, что приводит в свою очередь к значительным горизонтальным отклонениям.

Долгосрочное напряжение фундамента: во время эксплуатации механическое воздействие на фундамент приводит к его износу и снижению жесткости. В конечном итоге может возникнуть угроза разрушения.

Износ сварных швов: стальные сварные швы со временем изнашиваются, в них появляются трещины из-за накапливаемых остаточных напряжений. Способность сохранения устойчивости башни уменьшается, и в конечном итоге корпус башни разрушается.

Отказ лопастей: лопасти изнашиваются из-за ветровой нагрузки, усталости материала и вибрации, что может привести к их разрушению.

Эксцентриситет нагрузки турбин: если конструкция турбины не была правильно спроектирована и имеет встроенные эксцентриситеты, которые не были учтены в первоначальном расчете нагрузок, они могут привести к износу и трещинам в лопастях турбины.

Дисбаланс ротора: ротор и лопасти имеют встроенный дисбаланс, из-за чего во время вращения возникает эксцентрическое движение. Снег или обледенение, неучтенные при проектировании, могут привести к критическим нагрузкам из-за разбалансировки ротора и лопастей.

Остаточное напряжение, вызванное внутренними швами: если внутренние сварные швы были сделаны на башне без согласования с производителем, они могут вызвать остаточные напряжения, которые приводят к преждевременным трещинам из-за износа.

Трещины фундамента: трещины в основе фундамента из-за усталости циклических нагрузок могут привести к уменьшению жесткости основания. Это сказывается на работе ВЭУ и может привести к резонансу, вызывающему увеличение амплитуды колебания конструкции башни.

Смягчение фундамента из-за плохого дренажа: проблемы дренажа могут привести к снижению устойчивости почвы (при избыточном количестве влаги) и снижению поперечной жесткости.

Коррозия болтов основания из-за агрессивной почвы: почва обладает агрессивными свойствами, которые приводят к ухудшению состояния бетона и проникновению элементов почвы в болты / крепления. Коррозия болтов / креплений приводит к снижению структурных свойств основания, а, в конечном счете, и уменьшению жесткости.

Сейсмические нагрузки: проектировщики ветровых башен должны учитывать при проектировании ВЭУ сейсмические характеристики местности.

Особенностью конструкции ветровой установки является ее динамические характеристики и связанные с этим проблемы. Уникальность ВЭУ заключается в ее конструкции, ведь она, по сути, "рабочая машина" с движущимися частями, по сравнению с мостом или многоэтажным зданием. Эти органические динамические нагрузки, создают множество проблем, которые обычно не встречаются при проектировании статических сооружений.

Долгосрочные нагрузки характерны для работы ветрогенераторов: частота этих нагрузок может достигать 20 миллионов циклов за 20 лет. Так что при проектировании ВЭУ необходимо учитывать каждую из этих нагрузок, в том числе кратковременные нагрузки при аварийном отключении, землетрясении, пике динамического давления и при порывах ветра.

Для оффшорных проектов из-за дополнительных технических сложностей характерны следующие проблемы:

- Гидродинамические волновые нагрузки на фундамент башни.
- Частотное воздействие одновременного давления ветра и морских волн на структуру фундамента башни.
- Усталость и коррозия металлоконструкции под воздействием морской воды.
- Сложности подводного мониторинга и обслуживания.

- Инженерно-геологические характеристики дна основания.

Вернемся к обсуждению высоких ветроустановок.

Башни продолжают расти в высоту и выдерживать всё большие нагрузки. Следующие поколение ветроустановок будет превышать 100 м в высоту, а их крупногабаритные турбины достигать мощности в 7,0 МВт. По мнению автора, средняя высота башни в 120 м с мощностью турбины 7,0 МВт к 2015 году будет обычным делом.

Со временем для облегчения проектирования нам следует создать реестр башен и перечень вопросов, вызывающих затруднения при проектировании. Области для дальнейшего исследования включают в себя:

Структурный мониторинг производительности: мониторинг нескольких выбранных установок, с учетом оказываемых на них нагрузок, напряжений и их производительность.

Комплексные исследования неисправностей в конструкции ВЭУ: необходимо провести исследование для создания единого реестра конструкций ветрогенераторов и описанных неисправностей данных конструкций. Существует очень мало необходимой информации по этой теме в научных исследованиях.

Оценка всех условий нагрузки: существует недостаток информации о полном наборе всех нагрузок действующих на конструкцию ветрогенератора. Необходимо установить единые стандартные требования для всех производителей ВЭУ.

Открытые дискуссии специалистов по вопросам проектирования ВЭУ: наши технические специалисты должны общаться и делиться своими успехами и проблемами. Лучший способ найти решения – поставить вопрос на открытую дискуссию.

Статистический учет: мы должны вести учет всех возникающих проблем и вопросов, с тем, чтобы мы могли отслеживать эффективность различных систем.

Совершенствование конструктивных принципов: все эти усилия должны быть объединены в единую базу данных по проектированию ВЭУ, учитывающую конструктивные изменения ВЭУ.

Д-р Дилип Хатри Главный Инженер Проектировщик в URS Corp в Лос-Анджелесе, имеющий 27-летний опыт в строительном бизнесе. Он работает в отрасли ветроэнергетики уже 10 лет.

Его опыт в разведке и строительстве на сейсмоопасных территориях оказывает неоценимую помощь в расследовании страховых случаев. Д-р Хатри имеет обширный опыт работы с высотными объектами, опытом по ликвидации последствий землетрясений, строительству сложных структурных систем и проектирования их инфраструктуры. Он опубликовал более 30 научных работ, 2-х учебников и участвовал в более 100 научных конференций на международном уровне.