

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕТРОУСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SOLIDWORKS И COSMOSWORKS

Кравченко И.И., Селянкин Д.М.

Научный руководитель – к.т.н., профессор Головин М.П.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Глобальный Совет по Ветроэнергетике (The Global Wind Energy Council, GWEC) объявил, что количество добываемой с помощью ветра энергии в 2009 году выросло на 31%, в абсолютном выражении увеличилось на 37,5 ГВт и достигло 157,9 ГВт. Треть всего роста произошло за счет Китая, который закончил еще один год с показателем роста на 100% в данной области. Основными рынками, обеспечившими столь значительный рост, стали страны Азии и Европы, а также США, каждый из которых ввел в эксплуатацию более 10ГВт.

Продолжающийся быстрый рост ветроэнергетики, несмотря на финансовый кризис и экономический спад, свидетельствует о привлекательности технологии такими аспектами как: экологическая чистота, надежность и быстрый монтаж. Ветровая энергетика стала мощной технологией, на которой останавливают свой выбор все большее число стран по всему миру.

Сегодня ветроэнергетика - мощный энергетический ресурс. Энергия ветра используется более чем в 70 странах; ветрогенераторы производят более 1% электроэнергии во всем мире. Суммарные же мощности ветроэнергетики на планете выросли с 1997 по 2009 года в 17 раз. Ветроэлектростанции (ВЭС) строятся гораздо быстрее, чем обычные электростанции, а главное - ВЭС позволяют сберегать нефть, газ и другие источники топлива.

По оценкам западных специалистов, на сегодняшний день ветроэнергетика является самым экономически эффективным из всех направлений энергетики, базирующихся на возобновляемых источниках энергии. У современных ветрогенераторов расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание не превышают \$0.01 за 1 кВт/час.

Традиционно наибольшее распространение в мире получили аксиальные ветрогенераторы. Их главное достоинство заключается в сравнительно высоком КПД (до 48%), но одновременно таким системам присущ и ряд недостатков. Главным из них можно назвать достаточно высокую сложность конструкции, связанную с необходимостью применения высоких башен (до 80 метров и более), сложных механизмов регулирования шага лопастей и ориентации ротора ветрогенератора по ветру. Следствием этого является высокая цена таких установок, достигающая \$1000 и более на один киловатт мощности. Естественно, что необходимость амортизации высоких начальных затрат увеличивает и стоимость производимой электроэнергии.

Альтернативой аксиальным ветрогенераторам являются роторные, имеющие вертикальную ось вращения. Наибольшую популярность среди ветрогенераторов этого типа получила система, которую еще в 1931 году запатентовал французский инженер Georges Jean Mary Darrieus. По имени своего создателя конструкцию называют ротором Дарье. Роторные системы имеют ряд серьезных преимуществ по сравнению с аксиальными: они проще по конструкции и не требуют ориентации по направлению ветра.

Постановка задач

Максимальная мощность установки, указанная в техническом задании, составляла 50 кВт. При этом скорость вращения ротора не превышала 60 об/мин. Такое соотношение не может не приводить к появлению значительных усилий в элементах конструкции. Поэтому уже на начальном этапе было понятно, что подробные прочностные расчеты необходимы. Более того, именно выбор правильной силовой схемы фактически будет задавать всю конструкцию. К примеру, в результате расчетов, анализа и об-

суждения различных конструктивных схем генератор, который изначально планировалось установить внизу, на фундаменте, был перенесен наверх башни. Однако для того, чтобы обосновать и принять такое решение, были проанализированы десятки различных вариантов.

Выбор силовой схемы

В качестве отправной точки для дальнейшего проектирования мы рассмотрели схему, которая была применена в конструкции экспериментальной модели, использовавшейся для проверки основных принципов новой концепции. Конструкция этого ветряка представляла собой сварной металлический ротор, состоящий из горизонтальных ферм, которые крепились к центральной трубе. Труба переходила в вал, который был установлен в подшипниках на неподвижной башне и служил для передачи крутящего момента к установленному внизу, на фундаменте, генератору.

Для всех расчетов применялась CAE-система COSMOSWorks. Так как в процессе работы конструкция испытывает переменные динамические нагрузки, одной из первых проблем стало корректное задание внешних нагрузок. После анализа характера нагружения были приняты следующие допущения:

- система нагружена односторонней (асимметричной) максимальной рабочей нагрузкой;
- лопасти не способны жестко объединять крайние участки ферм и, следовательно, в расчетной модели все три фермы не имеют связей по точкам крепления лопастей.

Для того, чтобы убедиться в справедливости сделанных допущений, было решено провести эти расчеты, используя исходные данные и геометрию натурной модели, и затем сравнить их с реальной картиной результатов натуральных испытаний.

Хотя результаты расчета и их анализ показали, что жесткость системы явно недостаточна (например, перемещение крайней точки верхней фермы относительно крайней точки нижней фермы при максимальной рабочей нагрузке составило более 500 мм), их величины и характер соответствовали экспериментальным данным. Следовательно, можно было признать, что сделанные допущения являются корректными. Вообще, мы рекомендуем проводить подобные проверки во всех случаях, когда представляется такая возможность (то есть имеются результаты испытаний реальных конструкций, аналогичных рассчитываемым).

Наряду с подтверждением правильности сделанных допущений, выяснилась еще одна особенность. Самым нежестким элементом существующей конструкции оказались не фермы, как предполагалось, а центральная труба, которая при нагружении начинала сильно закручиваться.

Жесткость силовых элементов, через которые передается крутящий момент, оказывает значительное влияние на КПД и на работоспособность ветродвигателя в целом. Обтекание поверхности лопастей должно происходить в ламинарном режиме. Недостаточная жесткость приводит к возникновению колебаний и, как следствие, к срывам потока и турбулентности. Поэтому **жесткость и "ветровая прозрачность" будущей конструкции стали определяющими критериями.**

Предварительный анализ выявил ряд недостатков предлагавшейся силовой схемы. Прежде всего, как уже отмечалось, это относится к конструкции ветроротора. Другой немаловажной проблемой оказалась передача крутящего момента от ротора к расположенному внизу, на фундаменте, генератору. Предназначенный для этой цели полый вал длиной около 10 метров при отборе мощности также имел склонность сильно скручиваться и "играть", как пружина. Серия расчетов, проведенная с целью найти приемлемые по жесткости габариты этих элементов, показала, что при этом габариты и масса конструкции значительно возрастают.

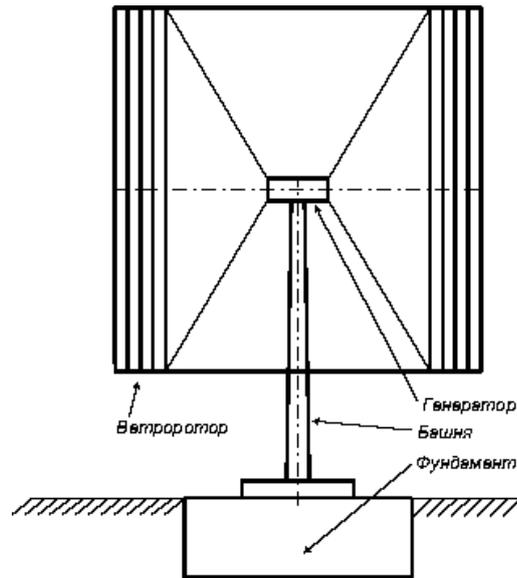


Рисунок № 1 – Схема ветроустановки

В результате анализа полученных данных первоначальная силовая схема, предложенная заказчиком, была изменена следующим образом:

- для упрощения конструкции башни, отказа от применения вала и муфт, передающих крутящий момент на генератор, электрогенератор был перенесен наверх, в центр ветроустановки;
- для придания ветроустановке необходимой жесткости и уменьшения его массы конструкция ветроустановки была сделана объемной, с применением тонкостенных элементов.

Как видно на схеме (рис. 5), передача усилий от лопастей на ветроустановку осуществляется через три точки крепления на каждой половине ветроустановки. Значение передаваемых сил от ветрового потока распределяется по точкам крепления лопастей следующим образом:

- крепление лопастей к верхней ферме – 25%
- крепление лопастей к средней ферме – 50%
- крепление лопастей к нижней ферме – 25%.

При расчете конструкции нами были поставлены следующие три задачи:

1. Передача усилий от ветроустановки к генератору должна осуществляться напрямую через специальный промежуточный фланец с шарнирами. Количество, тип, габаритные размеры, несущая способность и месторасположение шарниров должны быть определены при проведении прочностных и жесткостных расчетов ветроустановки и промежуточного фланца.

2. Вал и подшипники генератора должны быть подобраны с учетом радиальных и осевых нагрузок (реакций) от ферм ветроустановки.

3. Башня должна обеспечивать надежное и жесткое крепление статора электрогенератора с одной стороны и крепиться к фундаменту – с другой. Она должна быть спроектирована с двойным (как минимум) запасом по прочности, прогиб при максимальной нагрузке не должен превышать 12 мм. Собственные частоты колебаний башни должны быть как минимум на порядок большими по отношению к максимальной частоте вращения ветроустановки.