

## Безбашенная ветровая энергетическая установка (ВЭУ) с горизонтальной осью вращения

Доктор Анатолий Качан, лауреат Премии Совета министров СССР.  
НТА «Экологический императив»

### Цель предложения и решаемые проблемы

**Вопросы материалоемкости ВЭУ.** В мировой ветроэнергетике господствуют трехлопастные ВЭУ с горизонтальной осью вращения.

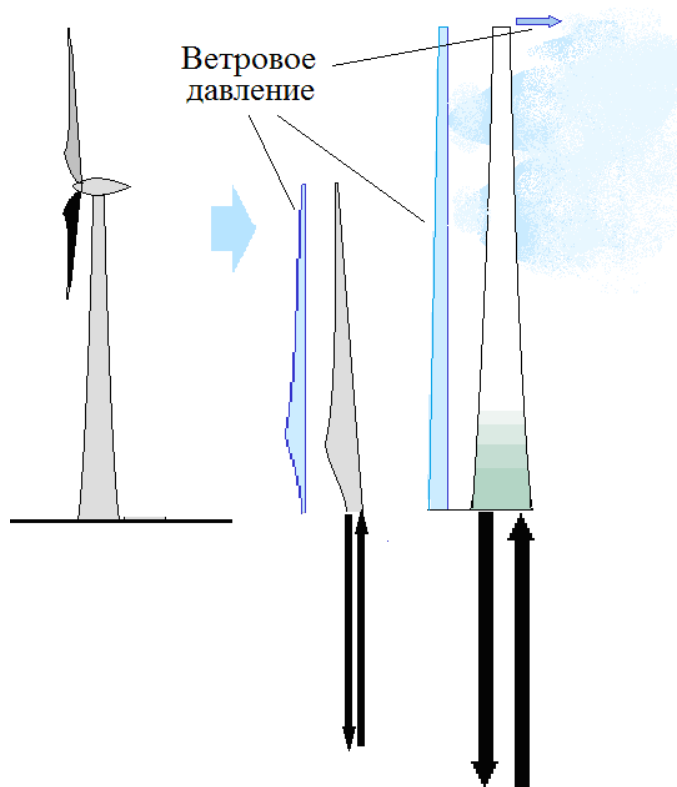
Несмотря на их широкую распространенность, эти установки не рациональны по расходу несущего материала.

На рисунке ниже показана ветровая нагрузка на лопасть и башню ВЭУ, а также равнодействующие растягивающих и сжимающих сил в опорах.

Величина этих сил является показателем материалоемкости конструкции – чем больше силы, тем больше требуется несущего материала.

Как видно, величина сил растяжения и сжатия в опорах (и промежуточных поперечных сечениях) велики не только по причине больших усилий в сечениях от внешней нагрузки, но и по причине малых расстояний между силами растяжения и сжатия.

Снижение расхода несущего материала может быть достигнуто увеличением расстояния между этими силами. Решение этой задачи лежит на инженерах-проектировщиках.



Если отвлечься от условий аэродинамических, транспортировки, монтажа, эксплуатации, представленную конструктивную схему ВЭУ следует признать не рациональной.

**Цель настоящего предложения в отыскании конструктивной формы ВЭУ, более рациональной по теоретической материалоемкости.**

**Вопросы транспортировки и монтажа больших ветроустановок.** Хорошо известно, что ветровая энергия может быть экономически конкурентоспособной с другими ее видами лишь при строительстве ВЭУ большой единичной мощности. Ниже сопоставлены размеры одной из таких ВЭУ с размерами магистрального пассажирского самолета.



Некоторые специалисты считают, что препятствием к созданию мощных установок может быть, прежде всего, создание уникального монтажного оборудования, значительно превышающего, при большой грузоподъемности, размеры монтируемых конструкций. О размерах монтажного крана, поднимающего генератор к люльке ветровой установки можно судить по приведенной фотографии крана и ВЭУ.



***Монтажное оборудование для предлагаемой ветровой установки имеет значительно меньшую грузоподъемность и размеры.***

Кроме цели создания уникальных по размеру ВЭУ, необходимо решить и проблемы транспортировки элементов конструкций к месту монтажа. Ниже показана транспортировка лопасти в условиях населенного пункта. Не меньшую проблему представляет транспортировка таких элементов в горных районах, притягательных по размещению на них ВЭУ, но где дороги весьма узки, круты и извилисты.



*Транспортировка элементов предлагаемой ВЭУ потребует лишь серийно выпускаемых транспортных средств, существенно меньшей грузоподъемности и размеров.*

**Вопросы экологии.** Ветроэнергетику часто называют наиболее экологически чистой. Но хорошо известны вредных экологических факторов, связанных с работой существующих крупных ВЭУ.

Вот – самые главные.

Инfrasound, создаваемый ВЭУ, вреден для здоровья человека.

Гибель птиц. Лопасти трехлопастных ВЭУ движутся с линейной скоростью, значительно превышающей скорость ветра. От этих лопастей птицам зачастую не удается увернуться. Вращающиеся лопасти ухудшают качество телепередач. Хотя изготовление лопастей из радиопрозрачных материалов – стеклопластика или углепластика – такой недостаток устраняет, они весьма дороги.

*Предлагаемая ВЭУ не обладает, упомянутыми выше, отрицательными экологическими недостатками.*

*При скорости вращения ветрового колеса, что значительно меньше, чем у традиционных ВЭУ, появление вредного для здоровья человека инфразвука, гибель птиц и помехи телепередачам исключаются.*

**Вопросы аварий на ВЭУ.** Применяемые ВЭУ обычно обладают значительной гибкостью конструкции (частично, башен и, в особенности, лопастей).

На рисунке ниже показан изгиб лопастей от давления ветра и резонансных колебаний конструкции.



Как видно на рисунке ниже, лопасти могут ударить по башне и вывести конструкцию из строя.



*На предлагаемой ветровой установке аварии с увеличением скорости ветра исключены. Она состоит из ветрового колеса в виде пространственной стержневой конструкции, опирающейся на землю с возможностью вращения.*

*Конструктивная схема предлагаемой установки обеспечивает ей высокую пространственную жесткость, прочность и устойчивость. Установка способна выдержать высокие ветровые давления. Кроме этого, будучи многолопастной, она способна начинать вращение и при малых скоростях ветра.*

**Вопросы мультипликации оборотов роторов генераторов.** Линейная скорость вращения ветрового колеса, приводящая к вредным экологическим последствиям, вместе с тем, оказывается недостаточной для оптимальной скорости вращения ротора генератора. Создание мультипликаторов вращения для передачи значительной мощности представляет серьезную инженерную задачу.

*Конструкция предлагаемой установки обладает способностью, с помощью простых мультипликаторов, обеспечить достаточную скорость вращения роторов генераторов.*

**Вопросы аэродинамических требований и простоты строительства.** Чем совершенней аэродинамический профиль лопастей традиционной ВЭУ, тем выше ее КПД. Автор считает, что существующие установки недостаточно используют энергию ветрового потока. Лопасть пропеллера движется со скоростью, значительно превышающей скорость ветра. Это сопряжено с безвозвратной потерей энергии на трение лопастей о воздух. Выполнение лопастей с высокими требованиями по совершенству геометрической формы и чистоты поверхности, увеличивают их стоимость. Кроме того, с целью снижения центробежных сил при вращении, вес их стремятся снизить.

*Предлагаемая конструкция, по сути, является обычной металлической конструкцией, которая может быть изготовлена достаточно хорошо оборудованным заводом металлоконструкций. Аэродинамические требования к ее лопастям снижены до минимума. Это существенно удешевляет изготовление элементов ВЭУ.*

*Предлагаемая установка использует при работе лишь наиболее удаленный от земли поток ветра.*

**Вопросы монтажа.** Как указывалось выше, монтаж существующих ветровых установок требует применения уникального монтажного оборудования. Он дорог и требует высококвалифицированного труда.

*Предлагаемая ВЭУ не содержит крупных неразъемных частей.*

*Значительная доля процесса сборки ветрового колеса производится на уровне земли и завершается применением серийно выпускаемого монтажного оборудования.*

**Вопросы эксплуатации.** Расположение лопастей и механизмов традиционных ВЭУ на большой высоте затрудняет замену лопасти, восстановление поврежденных эрозией их поверхностей, снятие наледи. Уход за механизмами ВЭУ по причине размещения их на большой высоте, также дорог.

Ниже показано, предположительно, обледенение лопасти ВЭУ.

С наледью, в частности, борются с помощью вертолетов – орошением лопастей специальными составами.



Еще ниже показано проведение ремонтных работ на лопастях – обновление поверхностного слоя лопасти, зачистку его поверхности и т.п.



*Эксплуатационные операции на предлагаемой ВЭУ производятся на значительно меньшей высоте, практически, на уровне земли. Они проще и дешевле.*

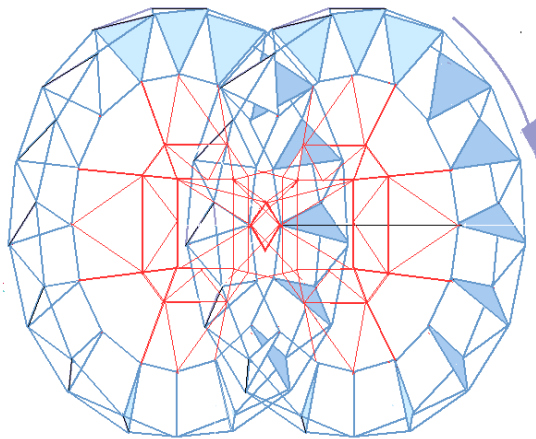
**Предлагаемая конструкция является альтернативой существующим ВЭУ.**

### Описание конструкции

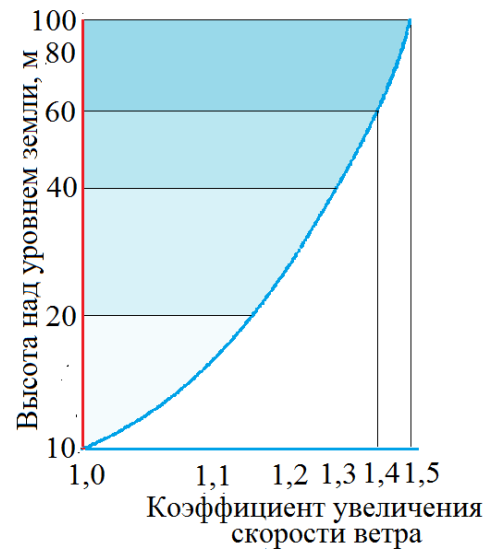
**Ветровое колесо.** Ниже показано ветровое колесо. Как видно, оно является жесткой, геометрически неизменяемой стержневой пространственной конструкцией. Особенность ветрового колеса в том, что плоские лопасти его имеют угол поворота  $45^{\circ}$  к оси вращения, а саму ось вращения принудительно отклоняют на угол  $45^{\circ}$  от направления ветра. В результате верхние лопасти ориентируются перпендикулярно или почти перпендикулярно движению ветра. Симметрично расположенные нижние лопасти ориентированы вдоль ветра или почти вдоль ветра.

Разница площадей, подверженных давлению ветра вверху и внизу, разница скорости ветра вверху и внизу, приводят ветровое колесо во вращение.

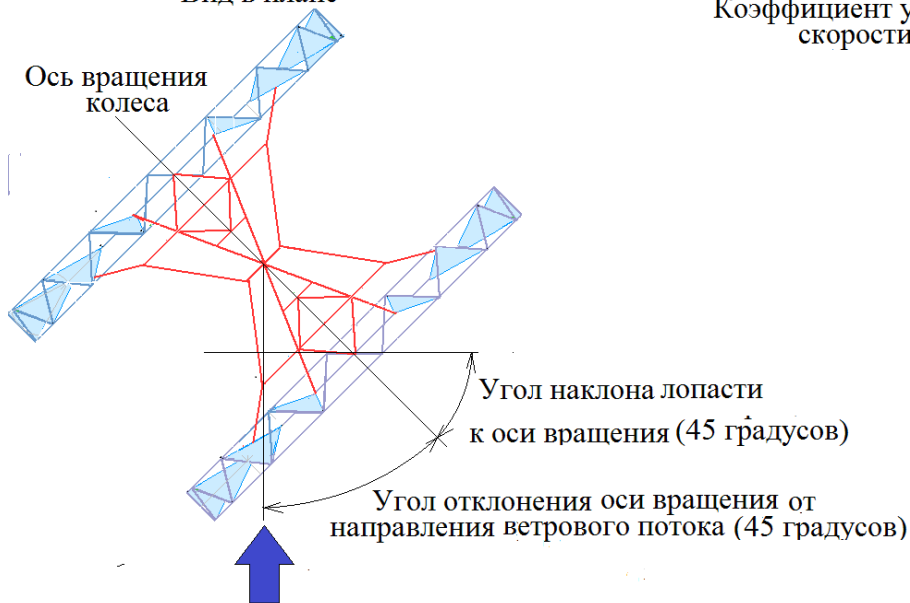
Вид со стороны  
набегающего ветра



Рост скорости ветра с увеличением  
высоты над землей



Вид в плане



Как видно, нами выбран диаметр ветрового колеса 100 м. По характеру работы лопасти приближены к парусам. По мнению специалистов, паруса – весьма эффективные ветровые установки.

Поскольку отсутствие экологического вреда при работе установки объясняется малой скоростью вращения ветрового колеса, ориентировочно оценим эту величину.

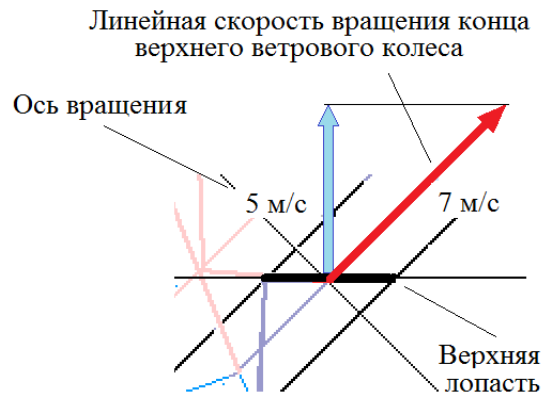
Известно, что всякая энергетическая установка использует лишь часть энергии ее носителя.

Как известно, мощность есть произведение силы на скорость.

Для ВЭУ, по критерию Беца (Бетца), для получения максимальной мощности две трети скорости ветра должны расходоваться на создание давления на лопасть, а треть на скорость перемещение лопасти вдоль потока ветра.

Нормативную мощность ВЭУ определяют при скорости ветра 10 м/с на уровне земли. Тогда скорость ветра на высоте 100 м составит 15 м/с. Скорость конца лопасти на этом уровне должна равняться  $15/3 = 5$  м/с.

Линейная скорость вращения конца верхней лопасти, как показано на рисунке ниже, будет составлять  $5 \times 1,41 = 7$  м/с, что почти вдвое ниже скорости ветра. (Заметим, что такая скорость безопасна для птиц).



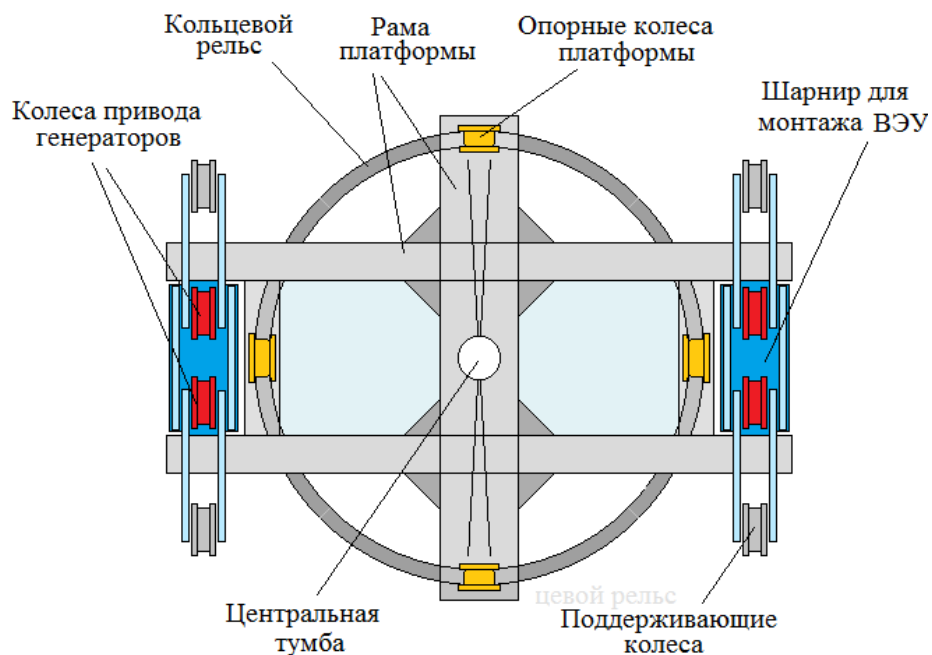
Мы, однако, получили лишь весьма приблизительный результат. Истинная линейная скорость будет другой, поскольку она определяется результатом взаимодействием с воздухом всех лопастей. Так как мощность ВЭУ зависит в кубе от набегающего ветрового потока, то самые незначительные неточности оценки линейной скорости вращения лопастей вносят значительную ошибку в оценке мощности. В этом трудность аналитического расчета ожидаемой нормативной мощности ВЭУ. Помочь здесь может лишь продувка модели в аэродинамической трубе.

**Поворотная платформа.** Ниже, в плане, показана поворотная платформа ВЭУ.

Платформа состоит из рамы, опорных колес (показаны желтым цветом), перемещающейся по кольцевому рельсу – для ориентации ВЭУ относительно ветра. Движение опорных колес строго по рельсу обеспечивается центральной тумбой, шарнирно соединенной с рамой платформы.

Платформа имеет устройства для монтажа ВЭУ – два монтажных шарнира (показаны синим цветом), с помощью которых левое и правое колесо поднимаются в вертикальное положение (см. ниже схему монтажа).

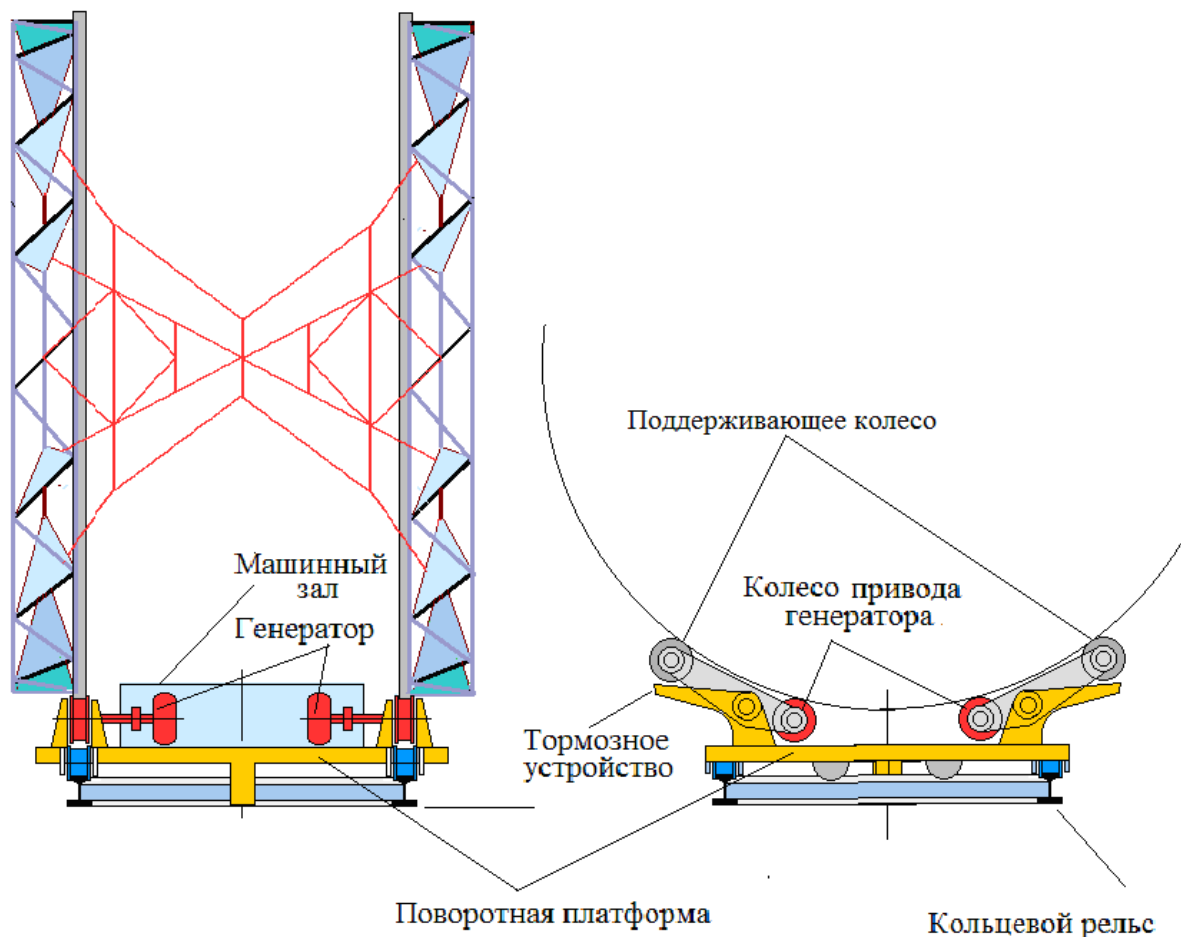
На шарнирах крепятся колеса приводов генераторов (показаны красным цветом) и поддерживающие колеса (серый цвет). Они, при монтаже ВЭУ, поворачиваются вместе с монтажным шарниром. Для надежности процесса монтажа, желтые колеса скрепляют захватами с кольцевым рельсом, а красные и серые колеса – с левым и правым колесом ВЭУ.



На схематическом рисунке ниже показан общий вид ВЭУ. Четыре колеса привода генераторов, имеющих фрикционное сцепление с ветровым колесом, передают вращение

на роторы генераторов. Увеличение оборотов колеса привода генератора может быть весьма значительным. Так, при диаметре колеса привода генератора 1 м, угловая скорость вращения ротора генератора в 100 раз превысит скорость вращения ветрового колеса. ВЭУ имеет привод ориентации оси вращения ВЭУ к направлению ветра, на рисунке условно не показанном.

Привод получает сигналы на поворот всей ВЭУ от флюгера-датчика направления ветра.

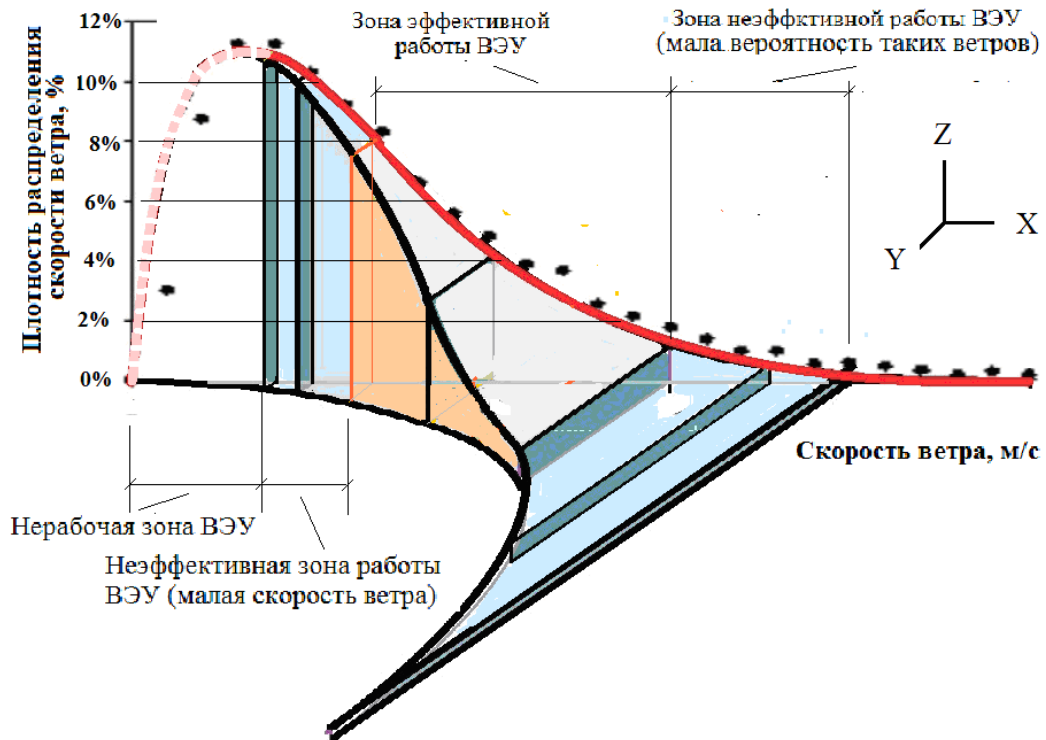


**Диапазон рабочих скоростей ветроустановки.** Многолопастные ветряки начинают вращаться на меньших скоростях ветра, чем весьма распространенные трёхлопастные. Это относится и к предлагаемой ВЭУ.

За счет обеспечения ее пространственной жесткости и прочности, она способна работать и на тех высоких скоростях ветра, при которых традиционные ВЭУ работу прекращают. Важность этого фактора на наработку ветровой энергии в течение достаточно продолжительного времени прослеживается на рисунке, разработанном автором. (См. рис. ниже).

На плоскости X-Z изображена плотность распределения ветра в течение продолжительного времени, положим, года. На плоскости X-Y отложена мощность ВЭУ при данной скорости ветра. Полученный на рисунке объем характеризует величину выработанной электроэнергии с учетом статистической изменчивости ветра.





Как указывалось выше, предлагаемая ВЭУ многолопастная. Она начинает работу при меньших скоростях ветра, чем традиционные трехлопастные. (Иногда важна не столько получаемая мощность, сколько работа ВЭУ вообще – для неотложных целей, например, освещения помещений, подпитки аккумуляторов и др.).

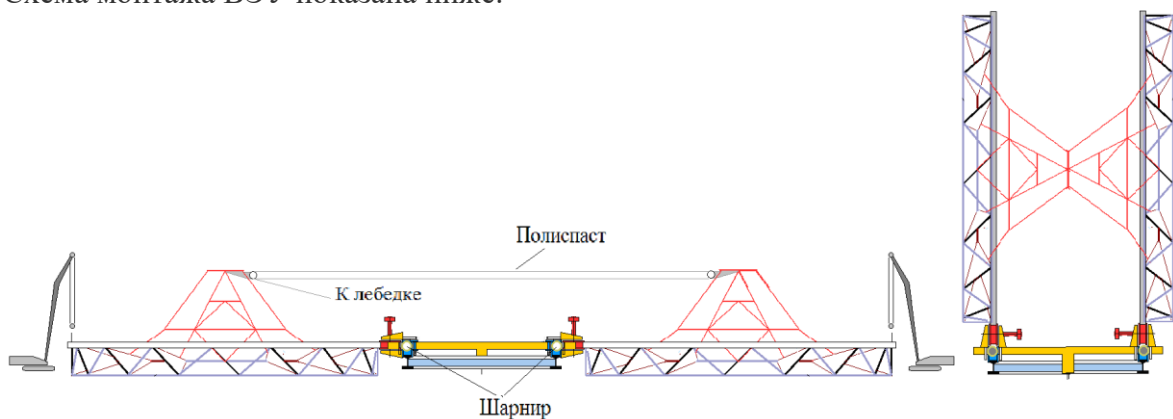
Предлагаемая ВЭУ обладает большой пространственной прочностью и гравитационной устойчивостью, Поэтому может работать и при высоких скоростях ветра.

Как видно, продолжение рабочей зоны предлагаемой ВЭУ в область как малых, так и высоких скоростей дает добавку к величине выработанной энергии. (Эти зоны показаны синим цветом).

ВЭУ содержит 4 генератора. Это повышает надежность ее работы.

## Монтаж ВЭУ

Схема монтажа ВЭУ показана ниже.



Монтаж левого и правого колеса производится в горизонтальном их положении на уровне земли. Соединения элементов пространственных стержневых колес болтовые.

Подъем собранных элементов ВЭУ производится согласованной работой монтажных кранов и полиспаста. (На первом этапе подъема – преимущественно, кранами, на завершающем – полиспастом).

Лопастей, для облегчения веса левого и правого колес перед подъемом не устанавливаются. Они монтируются после завершения подъема – внизу, путем пошагового поворота ветрового колеса.

Путем пошагового поворота ветрового колеса производится, например, и очистка поверхности установки от наледи, окраска конструкции и замена ее элементов.

Страховочные лебедки и тросы условно не показаны.

Как видно, для монтажа ВЭУ не требуются уникальные монтажные краны большой высоты подъема и грузоподъемности. То же относится и к демонтажу ВЭУ.

### Заключение

- *Предлагаемая ВЭУ не наносит экологический вред окружающей среде.*
- *Вследствие малой скорости вращения ее рабочих колес, возможна более густая расстановка ВЭУ на территории ветровой станции.*
- *Предлагаемая ВЭУ обладает относительно малой теоретической материалоемкостью – по сравнению с установками, широко распространенными.*
- *Предлагаемая установка способна вырабатывать энергию в уширенном диапазоне скоростей ветра - как малых, так и больших – по сравнению с установками широко распространенными.*
- *Предлагаемая установка, состоит из относительно малых по размеру элементов – по сравнению с размерами элементов установок широко распространенных.*
- *Сборка частей ветрового колеса, левого и правого, производится на уровне земли.*
- *Окончательный монтаж ВЭУ производится с помощью серийно выпускаемых монтажных кранов и другого монтажного оборудования – полиспаста и лебедок.*
- *Предлагаемая установка может быть возведена в труднодоступных, в частности, высокогорных районах.*
- *Эксплуатационный уход за предлагаемой установкой, в том числе, ремонт механизмов и замена элементов конструкции, упрощены.*
- *Предлагаемую установку можно рассматривать как альтернативу существующим конструкциям ВЭУ.*

В заключение напомним, что рассуждения о мощности предлагаемой ВЭУ и сравнение ее по этому показателю с существующими установками могут быть лишь весьма расплывчатыми. Определенность может внести только эксперимент – продувка в аэродинамической трубе.

Можно, однако, по этому вопросу сказать, что самые совершенные большие современные ветровые установки Сименс, при максимальной мощности 7 МВт, имеют общий вес 6000...8000 тонн, стоимость \$14...16 млн.

Мощность предлагаемой установки несравненно ниже. Но в пересчете на вес и стоимость ВЭУ, с учетом перечисленных выше в настоящем заключении факторов, она заслуживает внимания.