



Анализ ременных ветроустановок с самоустанавливающимися лопастями

Краткое описание

Ременные ветроустановки представляют собой два или более замкнутых ремня надетых на барабанные шкивы (выполнены из полимерной или стеклопластиковой трубы), один из которых подвешен на опорах, а другой установлен внизу и соединен с генератором.

Между ремнями установлены лопасти, валы которых с подшипниками с обеих сторон закреплены на внешней поверхности ремней специальными хомутами. Лопасти имеют симметричную аэродинамическую форму и выполнены из лёгкого материала (пенопласта), обтянутого прочной пленкой. Полый вал лопасти (выполнен из стеклопластика или алюминия) смещён максимально к носу лопасти и на своих концах (укреплённых на ремне) имеет пружинное кулачковое устройство,

которое позволяет лопасти поворачиваться относительно линии ремня (в обе стороны) на угол, зависящий от силы воздушного потока и создаваемого им момента на лопасть. Поворот лопасти создаёт угол атаки профиля лопасти к потоку воздуха такой, что результирующая сила всегда направлена к носу лопасти. Сцепление ремня с барабаном предполагается цепной (на барабан устанавливаются специальные дорожки под ремни) или просто фрикционной (требует больше натяга).

Функциональностоимостный анализ по сравнению с пропеллерными ветряками. (ФСА)

Механическая часть любой ветроустановки должна выполнять три основные функции.

Преобразовывать энергию воздушного потока в энергию движения некоторого аэродинамического элемента (лопасти). Транспортировать эту энергию к валу, вращающего генератор и поддерживать необходимое геометрическое и скоростное состояние всех элементов ветроустановки. Первые две функции необходимы для выработки электроэнергии, а третья для сохранения прочности всей конструкции.

Рассмотрим сечение лопасти (перпендикулярно радиусу) ветроколеса. На концевую часть лопасти (за сечением) действуют разные силы, которые создают нормальные и касательные к сечению напряжённости.

В сечении происходит векторное сложение всех напряженностей и по максимальной локальной напряженности определяется площадь сечения (по условию прочности материала). Каждая напряжённость, участвуя в сложении определяет увеличение площади сечения и то же самое время выполняет определённые необходимые функции в работе лопасти. Следовательно, каждая функция увеличивает площадь сечения и соответственно материалоемкость лопасти. В транспортировке энергии участвует только касательная напряжённость, направленная в сторону вращения. Остальные напряжённости выполняют функции сохранения прочности самой лопасти. Наибольшие напряжённости в сечении создают силы перпендикулярные лопасти и напряжённость от них тем больше, чем больше отношение плеча к геометрическим размерам сечения.

С увеличением длины лопасти, для сохранения тех же напряженностей, необходимо пропорционально увеличивать геометрические размеры сечения. При этом материалоемкость лопасти увеличивается в кубе от длины. Мощность ветроколеса увеличивается в квадрате от длины лопасти (поток ветра

охватывается площадью круга ветроколеса $\pi \cdot L^2$). Следовательно отношение материалоемкости к мощности ветряка увеличивается с увеличением длины лопасти (и длины транспортирования энергии) и наоборот с уменьшением длины лопасти удельная материалоемкость на единицу мощности уменьшается. Идея ременной ветроустановки в том, что уменьшаются размеры лопастей и оставляют ей главную функцию в преобразование энергии воздушного потока в механическое движение лопастей, а транспортировку энергии к валу осуществляют такие тяговые элементы, как ремни. Гибкие тяговые элементы в ременных передачах хорошо зарекомендовали себя для передачи энергии на сравнительно большие расстояния и обходится намного дешевле, чем например

передача той же энергии по длинной лопасти. Малые лопатки имеют то преимущество, что их поворот легко

регулировать пружинным кулачковым механизмом и настраивать на нужный режим работы.

Пропеллерный ветряк имеет одну опору, на которую действует полная ветровая нагрузка, создающая в основании опоры сильный изгибающий момент. В ременной ветроустановке на верхний барабан

действует половина продольной ветровой нагрузки (остальная воспринимается нижним барабаном), кроме того для подвеса используются четыре опоры, которые обеспечивают большую устойчивость и лучше воспринимают изгибающий момент. Пропеллерный ветряк с большим радиусом ветрового колеса и некоторой допустимой скоростью концов лопастей имеет малую угловую скорость. Ременная установка имеет радиус барабанного

шкива намного меньше размаха ветрового колеса и при соизмеримых скоростях лопастей имеет более высокие

обороты, следовательно редуктор имеет меньший рабочий момент и стоит дешевле.

Предыдущий анализ показал, что ременные передачи забирающие у ветра ту же мощность, что и пропеллерный ветряк с длинными лопастями, должен иметь по сравнению с ним меньшую материалоемкость

и соответственно быть дешевле. Важной характеристикой ветряка является его коэффициент полезного действия (КПД). Различают внешний КПД ветроустановки, зависящий от оптимального выбора подпора перед ветряком и внутренний КПД, зависящий от потерь в самом ветряке. К этим потерям надо отнести потери на обтекание потоком лопастей, на поворот потока между лопастями, на выходную

составляющую, перпендикулярную основному потоку и обусловленную обратной реакцией потока на передачу

лопастям части количества движения и механических потерь движущихся частей. Преимуществом ременной передачи является то, что обратную реакцию от первой ветви ремня ловит вторая ветвь, которая движется в обратную сторону по отношению к первой и в ту же сторону куда направлена

обратная реакция потока от первой ветви. Обратную реакцию от второй ветви можно в расчёте режима сделать минимальной.

Режим работы рассчитывается в таблице Excel, для разных параметров ветра и пружинный кулачковый механизм по рассчитанной кривой регулирует поворот лопастей. При этом удаётся получать высокий КПД

при разных нагрузках, вплоть до номинальной, при номинальных оборотах генератора. При достижении генератором номинальной мощности, кулачковый механизм начинает более резко открывать лопасти

вплоть до флюгерного режима. При этом нагрузка на генераторе не снижается, а подпор ветра перед ветроустановкой понижается. Благодаря такому режиму ветроустановка может выдержать без остановки

достаточно большие ураганные ветры. В пропеллерном ветряке лопасти находятся далеко друг от друга.

Считается, что нагрузка ветряка не сильно зависит от количества лопастей. Однако анализ показывает, что слои воздуха у поверхности лопасти в каждый момент времени имеют отличную от средней между лопастями скорость, поэтому выходящий поток не равномерный и имеет в каждой точке пульсацию скорости,

что вызывает шум и некоторое снижение КПД. Промежутки между лопастями вероятно способствуют гибели птиц от бокового удара. У ременного ветряка лопасти находятся близко друг от друга, выходящий поток равномерный, шума должно быть намного меньше и лёгкие лопасти вряд ли могут кого ни будь убить.

Отрыв тяжёлой лопасти у пропеллерного ветряка может привести к непредсказуемым последствиям.

К преимуществам ременной передачи надо отнести то, что всё главное оборудование (генератор, редуктор, тормозная система) находятся внизу и удобна в обслуживании, подход к лопастям также возможен снизу, при ручном вращении ремней. Предусмотрен также подъём и опускание верхней станины с барабаном с помощью полиспаста. К недостаткам ременной передачи надо отнести

то, что она не поворачивается по ветру, устанавливается стационарно и без специальных направляющих не улавливает перпендикулярную к главному направлению составляющую скорости ветра. По линии главного направления установка работает при прямом и обратном направлении ветра. Данная особенность ременной ветроустановки вынуждает ставить её в местности где в розе ветров преобладает линия по которой средне кубическое по времени значение проекции ветра на эту линию имеет наибольшее значение. Компоновка ременной ветроустановки позволяет пристраивать к ней дополнительные направляющие устройства, повышающие эффективность её работы. Наиболее эффективна пристройка с обеих сторон ветроустановки расширительных камер, которые позволяют увеличить площадь захвата ветра. В этом случае входная камера выполняет роль конфуз-ора, а выходная роль диффузора (для диффузора необходим расчёт на срыв воздушного потока).

Кроме того, когда в входном потоке присутствует перпендикулярная оси составляющая возникает обратный градиент давления, который поворачивает эту составляющую вдоль оси. Поэтому ветроустановка захватывает энергию не только осевой составляющей ветра, но и энергию его поперечной составляющей (с некоторыми потерями), что сглаживает недостаток стационарной установки.

Резюмируя предыдущие рассуждения можно конкретизировать преимущества ременной ветроустановки с самоустанавливающимися лопастями перед классическими пропеллерными ветроустановками.

- ***Ременные ветроустановки имеют меньшую удельную (на единицу мощности) материалоемкость и меньшую удельную стоимость.***
- ***Ременные ветроустановки имеют более высокий КПД во всём рабочем режиме при номинальных оборотах генератора.***
- ***Ременные ветроустановки выдерживают большие ураганные ветры и при этом сохраняют свою максимальную мощность.***
- ***Ременные ветроустановки более удобны при обслуживании и ремонтах. Не требуют высотных работ.***
- ***Ременные ветроустановки более безопасны.***

Patents granted:

2022 7405

2015 P 6273

PCT International publication No: WO/2023/275572



https://www.sakpatenti.gov.ge/ka/search_engine/view/13132/1/

https://www.sakpatenti.gov.ge/ka/search_engine/view/15675/1/

<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO23275572>

<https://www.sakpatenti.gov.ge/media/fulltexts/inventions/6273.pdf>