

Кальницкий Петр Владимирович

магистрант

Нифонтова Людмила Сергеевна

магистрант

Рощин Николай Николаевич

магистрант

ФГБОУ ВО «Омский государственный

технический университет»

г. Омск, Омская область

О ВЫБОРЕ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК

Аннотация: вопрос выбора электрогенераторов для различных ветроустановок является актуальным. В данной статье рассмотрены генераторы на постоянных магнитах и автомобильные генераторы, которые могут быть применены для ветроэнергоустановок. Приведен также краткий обзор структурных схем компоновки узлов ветроагрегатов с горизонтальным расположением оси ветроколеса и описаны их особенности.

Ключевые слова: ВЭУ, ветроэнергоустановка, ветроустановка, электрогенератор, ветроколесо, ветроагрегат, энергия ветра.

Возобновляемая ветряная энергия является доступной и экологически чистой. Однако, проектируемые ветроэлектроустановки (ВЭУ) составляют незначительную конкуренцию традиционным источникам энергии, несмотря на то, что внедрение ВЭУ может заменить до 30–50% невозобновляемого органического топлива [1]. Кроме того, преобразование механической энергии ветрогенераторами в электрическую энергию недостаточно исследовано в теоретическом и практическом аспектах. В связи с этим вопросы исследования и разработки более эффективных и безопасных, а также простых по конструкции ВЭУ являются актуальными.

При проектировании ВЭУ возникает проблема выбора электрогенератора. Ветряные колеса в основном относятся к тихоходным устройствам, а электрогенераторы обычно относятся к быстроходным устройствам. Для согласования хода колеса и электрогенератора, как правило, применяются мультипликаторы, которые приводят к снижению коэффициента полезного действия ВЭУ. В ветроустановках малой мощности со специальными генераторами на постоянных магнитах мультипликаторы не применяются, но это приводит к увеличению габаритов и массы, а значит и стоимости ВЭУ.

Одно из основных требований, которое предъявляется к ВЭУ – обеспечение малого момента страгивания, при котором имеется возможность вырабатывать электродвижущую силу (ЭДС) в условиях низких скоростей ветра (менее 5 м/с). Для того чтобы обеспечить малый момент страгивания необходимо: уменьшить инерционность вращающихся частей ВЭУ за счет снижения массы ротора и лопастей; минимизировать начальное трение в подшипниках; снизить магнитное тяжение ротора к статору. Так как в электрогенераторах довольно часто используются постоянные магниты со значительным остаточным потоком, то обычно наибольшую проблему создают магнитные силы. Наиболее перспективны для решения этой проблемы электрогенераторы дискового (аксиального) типа [7]. Высококоэрцитивные магниты в конструкции генератора позволяют убрать сердечник в обмотке за счет ее малой толщины, а это исключает силы магнитного тяжения и спрямления между статором и ротором и уменьшает момент страгивания ветроустановки. На рис. 1 представлена схема такого электрогенератора. Данная схема обеспечивает максимальную индукцию в обмотке, но удвоение количества магнитов ведет к высокой стоимости генератора.

Оптимальная стоимость достигается за счет применения схемы с одним слоем магнитов и полюсными наконечниками при замкнутой магнитной цепи. Для снижения стоимости магнитов типа «неодим-железо-бор», при значительной площади наконечника, полюс можно сделать мозаичным из магнитов малого размера (однородность магнитного поля в обмотке сохраняется) [7].

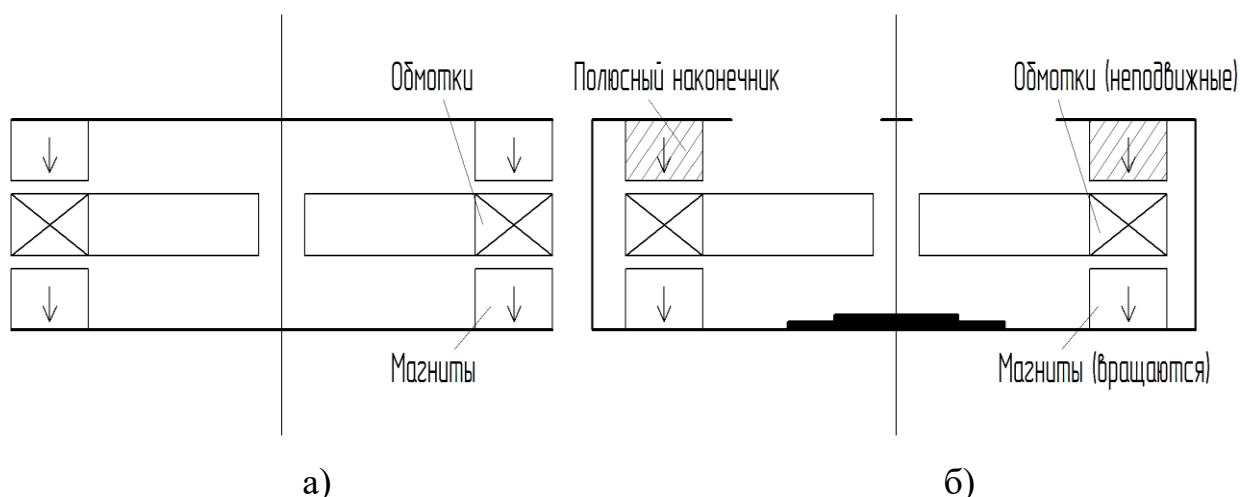


Рис. 1. Схема электрогенератора на постоянных магнитах дискового (аксиального) типа:

а) двухроторный вариант с неподвижными обмотками статора между магнитами; б) однороторный вариант с неподвижными обмотками статора между магнитами и полюсными наконечниками

Низкооборотный (многополюсный) электрогенератор на постоянных магнитах с плоскими катушками статора без сердечников позволяет существенно снизить момент страгивания генератора и ветроустановки в целом. Минимизация момента страгивания позволит ВЭУ работать при низких скоростях ветра (менее 5 м/с), а также расширить географический и временной диапазон применения ветроустановок.

Условия работы электрогенераторов автомобилей и ВЭУ схожи (широкий диапазон частоты вращения; возникновение кратковременных перегрузок; изменение температуры окружающей среды при высокой относительной влажности). Несмотря на это, однако, имеются и различия, в частности, средняя скорость вращения вала генератора ВЭУ заметно меньше средней скорости вращения вала генератора автомобиля. Тем не менее, принимая во внимание то, что автомобильные генераторы, которые выпускаются серийно и большими партиями, недороги, использование их в составе ВЭУ повышает надежность, большой срок службы и снижение стоимости ветроэлектроустановок.

Самым оптимальным сочетанием при использовании автомобильных генераторов в ветроустановках является применение следующей схемы: ветроколесо – автомобильный электрогенератор – аккумуляторная батарея (АБ) – инвертор – нагрузка (рис. 2) [1].

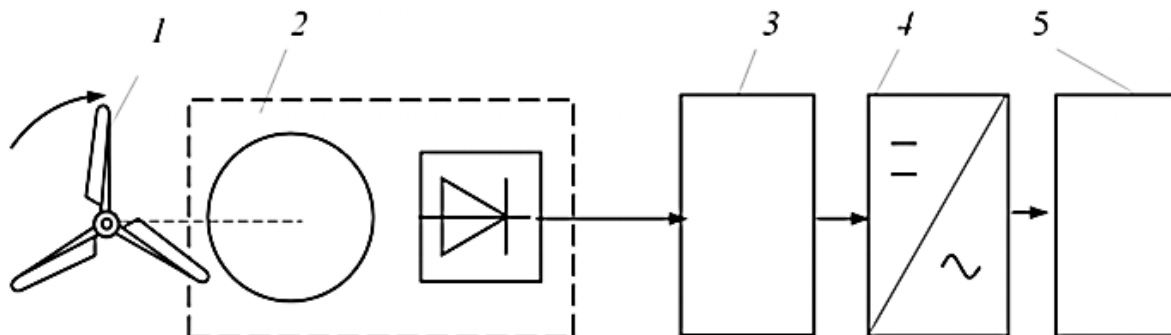


Рис. 2. Структурная схема ВЭУ с автомобильным генератором электрической энергии: 1 – ветроколесо; 2 – автомобильный генератор; 3 – аккумуляторная батарея; 4 – инвертор; 5 – нагрузка

Автомобильные генераторы и аккумуляторные батареи производятся, как правило, на напряжения 12 и 24 В. Необходимо отметить, что для того, чтобы получить напряжение для зарядки АБ на 12 или 24 В при снижении частоты вращения вала генератора ток возбуждения приходится увеличивать. Требуемая мощность возбуждения при этом получается равной полезной выходной мощности, а использование автомобильных электрогенераторов в ВЭУ становится нецелесообразным. Избежать подобной ситуации позволяют следующие методы [1]:

1. Использование многоступенчатого мультипликатора.

2. Применение генератора на напряжение 24 В при зарядке АБ на 12 В. Ротор генератора на 24 В необходимо заменить на ротор генератора на 12 В. При этом обмотка статора полученного генератора будет на 24 В, а обмотка возбуждения на 12 В. Данная конструкция электрогенератора позволяет получить достаточный ток возбуждения при напряжении 12 В (т.к. сопротивление обмотки возбуждения генератора на 12 В меньше сопротивления обмотки возбуждения генератора на 24 В).

3. Установка двух генераторов, приводимых во вращение от одного выходного вала мультипликатора с последовательно соединенными клеммами. При такой конструкции при выходном напряжении каждого генератора по 7 В можно заряжать аккумуляторную батарею на 12 В.

4. При использовании двух генераторов по пункту 3 в сочетании статора и ротора по пункту 2 можно заряжать АБ на 24 В одновременно.

Из экспериментальных исследований следует, что автомобильные генераторы могут быть использованы для создания ВЭУ малой мощности, если скорость вращения вала генератора не меньше 2000 об./мин., но и не больше 7000 об./мин. [4].

Возможность потребления большой электрической мощности зависит от инвертора. Инвертор преобразует напряжение аккумуляторной батареи в переменное напряжение 220 В с частотой 50 Гц. При повышении выходной мощности входная мощность также должна возрасти. Из-за этой причины необходимо применять электрогенераторы с более высоким выходным напряжением.

Для ВЭУ с горизонтальной осью колеса повышение мощности происходит за счет: удлинения длины лопастей; применения различных концентраторов воздушного потока; подбора местности с большим ветроэнергетическим потенциалом. Для ветроустановок с вертикальной осью ветроколеса мощность повышается за счет: применения модульного принципа сборки роторов ветрогенераторов (рис. 3); входного параллельного соединения роторов и последовательного соединения выходов электрогенераторов [3].

Любая установка с горизонтальным расположением оси ветроколеса состоит из блоков (элементов): колесо с лопастями; повышающий редуктор; ветрогенератор; мачта (башня); тормозная система. На базе этих основных элементов разработаны некоторые принципиальные схемы ВЭУ, которые отличаются лишь положением генератора (рис. 4).

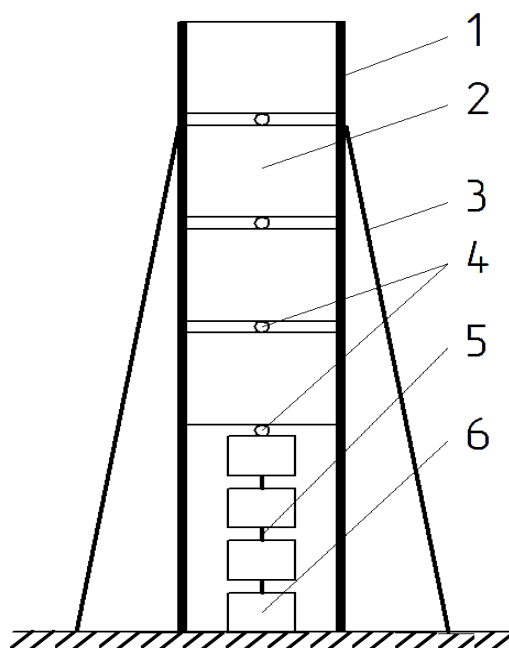


Рис. 3. Модульная конструкция ВЭУ:

1. – стойка; 2. – модуль; 3 – растяжка; 4 – муфты;
5 – вал привода генераторов; 6 – генераторы

Положение генератора может быть вертикальным и горизонтальным. Горизонтальное положение в свою очередь разделяется на верхнее и нижнее. Применение той или иной схемы зависит от различных факторов. Разные компоновки отличаются добавлением или исключением отдельных узлов, которые соответственно влияют на стоимость изготовления, на массогабаритные размеры и на требования к прочности отдельных элементов установки.

В ВЭУ с горизонтальным нижним расположением генератора ветряное колесо соединяется с генератором через повышающий редуктор, карданные валы, нижний угловой редуктор, также имеется тормоз и муфта. Нижний угловой автомобильный редуктор не рассчитан на нагрузку, которую воспринимает от веса карданного вала. Трансмиссия, передающая вращение от ветроколеса к генератору, требует установки дополнительных подшипниковых опор. Подшипниковые опоры при интенсивной работе изнашиваются, а это ведет к колебаниям установки в целом. Шлицевые карданные валы, из которых состоит трансмиссия,

необходимо периодически смазывать, что требует некоторой разборки конструкции. Чтобы опустить башню во время обслуживания и ремонта, необходимо отсоединить генератор.

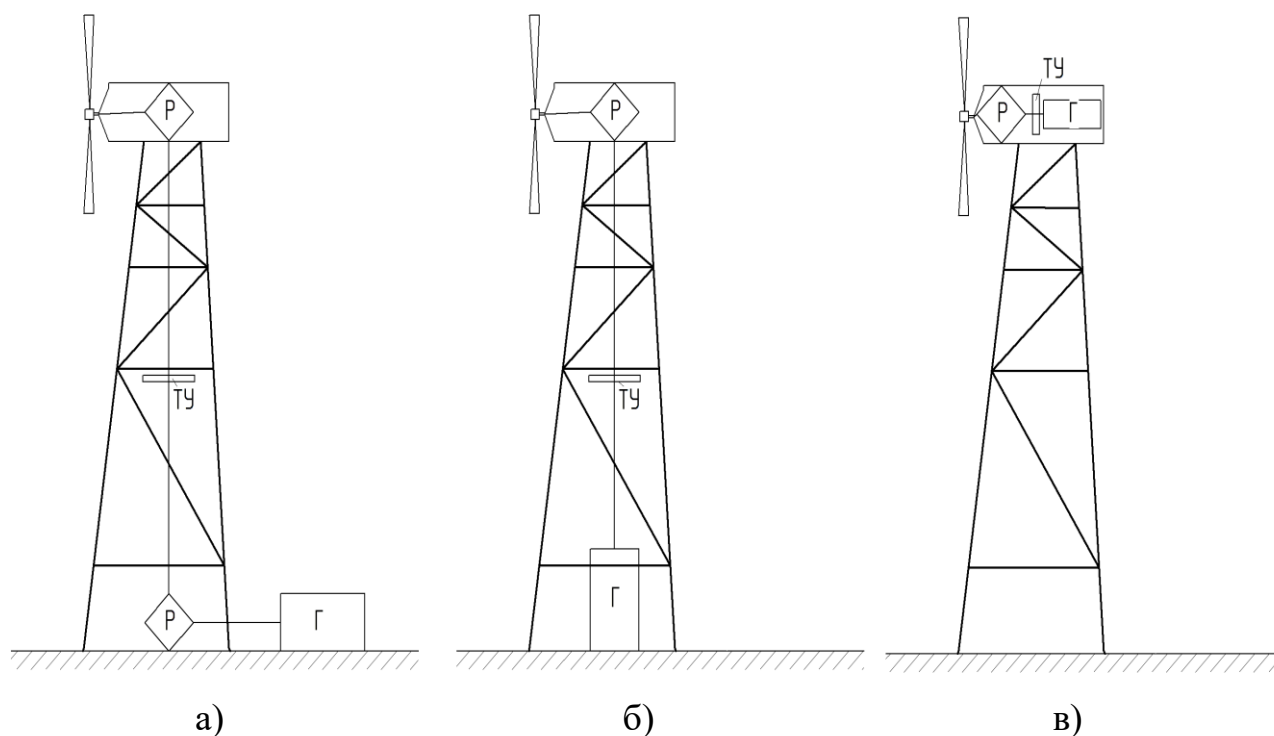


Рис. 4. Основные структурные схемы компоновки узлов ветроустановки с горизонтальным расположением оси ветроколеса:

- а) нижнее расположение генератора;
- б) нижнее вертикальное расположение генератора;
- в) верхнее расположение генератора.

Р – редуктор; ТУ – тормозное устройство; Г – генератор

Генератор выступает в качестве противовеса в схеме с его горизонтальным верхним расположением. Явное преимущество схемы выражено в отсутствии карданных валов и дополнительного редуктора. Исключается вероятность их поломки, в то время как неисправности этих частей трансмиссии характерные для ВЭУ с нижним расположением генератора являются наиболее частыми.

В схеме с вертикальным расположением генератора возникает необходимость в дополнительной опоре, а тип генератора должен быть предусмотрен для работы в вертикальном положении.

Для оптимизации ветроустановки кроме основных элементов могут быть и другие механизмы и системы. Коробки передач используются для более равномерного вращения вала генератора (при низких скоростях ветра). Механические (дисковые) и аэродинамические тормозные системы используются для уменьшения частоты вращения ветроколеса и для полной его остановки. Механический тормоз может быть установлен в башне между ветряным колесом и редуктором при схеме с верхним расположением генератора. Для стабильной подачи электроэнергии в буфере с инвертором работает аккумулятор, который подает напряжение в сеть при отсутствии ветра. В более мощных установках (несколько мегаватт) в башню ставят трансформатор для связи с высоковольтной линией.

Анализ большого количества типовых вариантов ВЭУ показал, что [6]:

1. Самая распространенная схема – схема с верхним расположением генератора.
2. Дисковый фрикционный тормоз с гидравлическим или электрическим приводом наиболее часто используется в качестве рабочей тормозной системы.
3. Во всех современных ветроустановках кроме механической тормозной системы используется принцип регулирования частоты вращения ветряного колеса с помощью углового поворота лопастей.
4. Для преобразования частоты вращения чаще всего применяются планетарные редукторы; в некоторых ВЭУ иностранных изготовителей можно встретить двух или трех скоростные коробки передач.

Список литературы

1. Анчугова А.Ф. Особенности применения автомобильных генераторов в перспективных конструкциях ветроэнергоустановок / А.Ф. Анчугова [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья – 2015. – №3. – С. 82–85.
2. Бубенчиков А.А. Выбор оптимального генератора для ветроустановки / А.А. Бубенчиков [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – №10. – С 18–22.

3. Галимов Н.С. Автоматическое управление включением обмотки возбуждения генератора переменного тока ветродвигателя / Н.С. Галимов, В.А. Иванов, К.З. Фатыхов // Научно-технический вестник Поволжья – 2014. – №2. – С. 124–126.

4. Ильясов Р.Ш. Оптимизация систем управления ВЭС / Р.Ш. Ильясов, А.Н. Сущикова // Проектирование и исследование технических систем. – 2007. – №11. – С. 28–32.

5. Квитко А.В. Автономные ветроэлектрические установки и системы / А.В. Квитко, Я.А. Семенов, Г.С. Отмахов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – №112. – С. 1003–1015.

6. Папушин Э.А. Повышение эффективности работы ветроэнергетической установки ВЭУ-16\30 / Э.А. Папушин, А.С. Былеев // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – №88. – С. 78–89.

7. Ряполов С.А. Электрогенератор для ветроустановки в условиях низкоэнергетических ветровых потоков / С.А. Ряполов, А.В. Янченко // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: Материалы 46-ой научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО КнАГТУ, 2016. – С. 516–518.