

УДК 620.075.8

UDC 620.075.8

К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

THE PROBLEM OF CLASSIFICATION AND BASIC REQUIREMENTS FOR PROJECTING WIND-ELECTRICAL INSTALLATIONS

Квитко Андрей Викторович
старший преподаватель,
9061870011@mail.ru

Kvitko Andrey Viktorovich
senior lecturer
9061870011@mail.ru

Гончаров Анатолий Андреевич
студент
4323139@mail.ru

Goncharov Anatoliy Andreevich
student
4323139@mail.ru

Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье раскрываются принципы классификации, а также основные требования и особенности проектирования ветроэлектрических установок

The article describes the principles of classification, as well as the basic requirements and features of wind power plants projecting

Ключевые слова: ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА, ВЕТРОАГРЕГАТ, ВЕТРОКОЛЕСО, ВЕТРОДВИГАТЕЛЬ

Keywords: RENEWABLE ENERGY SOURCES, WIND-ELECTRICAL INSTALLATION, WIND-MILL, WIND WHEEL, WIND TURBINE

В настоящее время в мире наблюдается интенсивный прирост мощности, получаемой от возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Немаловажным фактором ее опережающего развития в различных странах, независимо от размеров, географического положения, экономического состояния и ресурсной базы энергетики, являются экологические преимущества ВИЭ и постоянно развивающиеся технологии повышения экологической безопасности солнечных и ветровых электростанций [1].

Современная ветроэнергетика в развитых странах мира является одной из главных составляющих альтернативной энергетики на ВИЭ. К сожалению, в настоящее время доля ВИЭ, включая и ветроэнергетику, составляет в энергобалансе нашей страны лишь 1,5 %. Однако в России имеются объективные ресурсные, социально-экономические и экологические предпосылки для широкомасштабного использования, как ветроэнергетики, так и других возобновляемых источников энергии.

Для повышения эффективности внедрения ветроэлектрических станций (ВЭС) целесообразно рассмотреть классификацию, основные требования и особенности их проектирования.

Ветроэлектрические установки (ВЭУ), имеют большое разнообразие в классификации [1]. Анализ научной литературы показал, что самыми распространёнными признаками классификации ВЭУ являются:

- вид вырабатываемой электроэнергии;
- мощность;
- назначение;
- признак работы (с постоянной или переменной частотой вращения ветроколеса);
- способ управления;
- структура системы генерирования электроэнергии.

По виду вырабатываемой электроэнергии подразделяют на ВЭУ постоянного и переменного тока.

Кроме того, ВЭУ постоянного тока подразделяют на три группы: ветрозарядные; гарантированного питания и негарантированного питания. ВЭУ переменного тока также подразделяют на три группы: по назначению; по управлению; по структуре системы генерирования энергии. На рисунках 1 – 4 приведены структурные схемы классификации ветроэлектрических установок.

Мощностной ряд ВЭУ имеет четыре группы:

- а) большая мощность – свыше 1 МВт ;
- б) средняя мощность – от 100 кВт до 1 МВт ;
- в) малая мощность – от 5 до 99 кВт ;
- г) очень малая мощность – менее 5 кВт .

Ветрозарядные ВЭУ постоянного тока работают только на заряд аккумуляторных батарей (АБ) и могут иметь несколько систем АБ, каждая из которых поочерёдно работает в режиме заряда и разряда (когда одна си-

стема АБ питает нагрузку, другая заряжается). Выполняют ВЭУ, как правило, по безредукторной схеме с применением быстроходных ветродвигателей (ВД) и генераторов переменного тока. Такие установки снабжают простейшей автоматикой, обеспечивающей автоматическое переключение АБ с одного режима работы на другой и их защиту от перезаряда и глубокого разряда.

ВЭУ постоянного тока гарантированного питания работают параллельно с АБ. Поэтому они снабжаются специальными системами автоматического управления, обеспечивающими работу ВЭУ в зависимости от изменения скоростей ветра и внешней нагрузки в каждом из следующих режимов:

- 1) ветроагрегат (ВА) питает внешнюю нагрузку без АБ;
- 2) ВА заряжает АБ без внешней нагрузки;
- 3) ВА заряжает АБ и одновременно питает внешнюю нагрузку;
- 4) ВА и АБ работают параллельно на внешнюю нагрузку;
- 5) АБ питает внешнюю нагрузку без ВА.

Таким образом, АБ работает в смешанном режиме, переходящем с режима заряд-разряд в периоды отсутствия внешней нагрузки или ветра на режим постоянного подзаряда (буферный режим) при наличии достаточного ветра и внешней нагрузки.

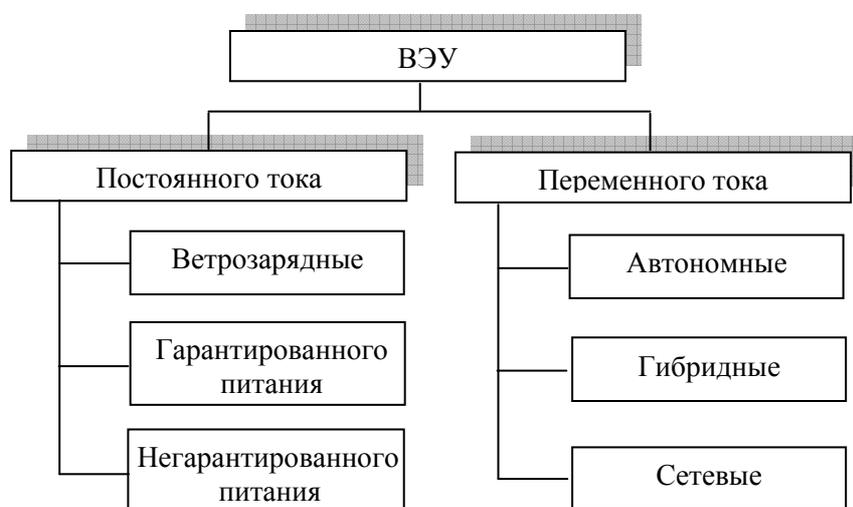


Рисунок 1 – Общая квалификация ветроэлектрических установок

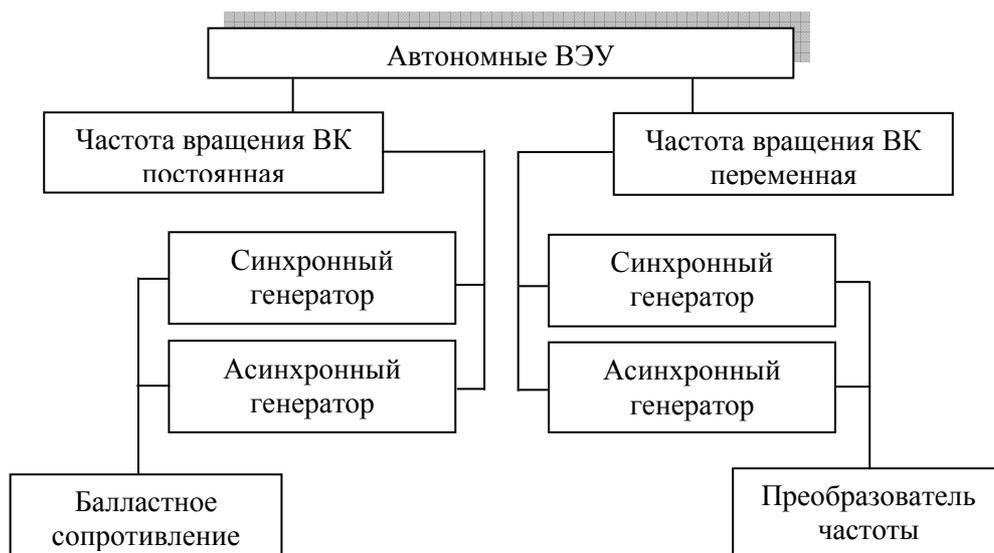


Рисунок 2 – Структурная схема автономных ВЭУ

ВЭУ постоянного тока негарантированного питания работают без АБ вместе с блоком управления, обеспечивающим стабильное напряжение на выходе. Такие ВЭУ имеют мощность от нескольких десятков до нескольких сотен ватт. ВК устанавливают непосредственно на вал генератора постоянного тока.

Во всех случаях рассмотренные ВЭУ постоянного тока должны иметь системы регулирования частоты вращения ВК. Никаких специфических требований к аэродинамике ВК не предъявляют. Мощность внешней нагрузки не должна превышать номинальную мощность ВЭУ.



Рисунок 3 – Структурная схема системных ВЭУ

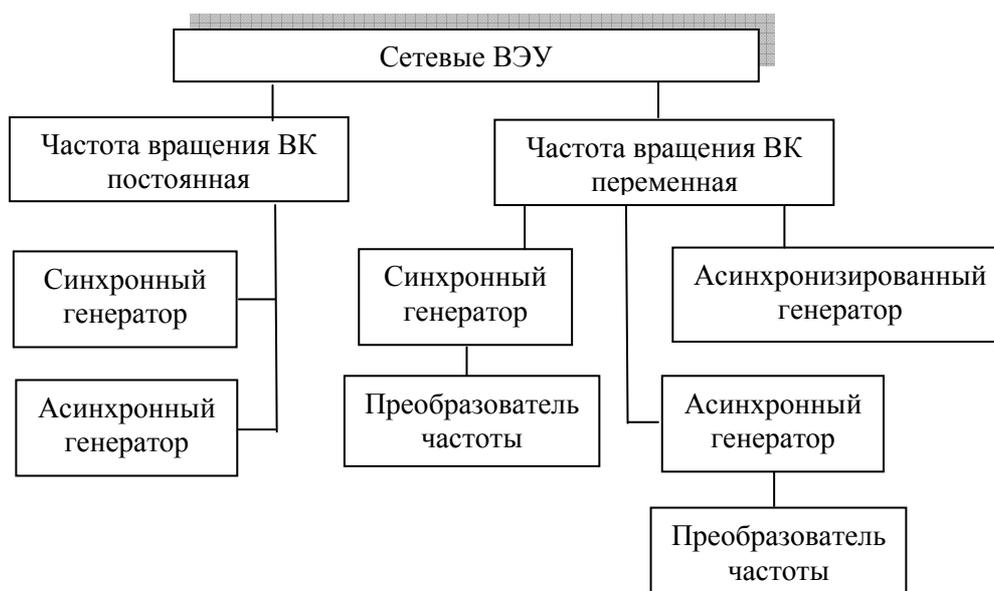


Рисунок 4 – Структурная схема сетевых ВЭУ

Принципы использования и способы управления ВЭУ переменного тока отличаются друг от друга.

В первом случае ВЭУ рассчитывают для работы автономно на собственную нагрузку с целью электроснабжения заданного потребителя.

Во втором – для работы параллельно с другими энергетическими установками соизмеримой мощности, в том числе с другими типами ВИЭ на общую, ими образованную, сеть [2].

В третьем – для работы непосредственно на электрическую сеть несоизмеримо большей мощности. Эффект несоизмеримо большей мощности здесь реализуется при отношении:

$$\frac{P_{Сети}}{P_{ВЭУ}} > 8...10. \quad (1)$$

Особенностью ВЭУ переменного тока при применении соответствующего регулирования ВК и определённой системы генерирования электроэнергии, обеспечивающей преобразование механической энергии вращения ВК в электрическую энергию промышленной частоты и напряжения, является то, что они могут эксплуатироваться в двух режимах:

1) при переменной частоте вращения ВК, что позволяет получить максимально возможную выработку энергии;

2) при постоянной частоте вращения ВК, что позволяет упростить систему генерирования электроэнергии при некотором уменьшении выработки энергии.

Режим переменной частоты вращения ВК используют при скоростях ветра меньших расчётного значения, а режим постоянной частоты вращения ВК – либо во всём диапазоне рабочих скоростей ветра, либо только скоростях ветра больших расчётного значения.

В автономных ВЭУ мощность нагрузки не должна превышать номинальной мощности ВЭУ. Никаких специальных требований в таких установках к аэродинамике не предъявляются. Режим постоянной частоты вращения ВК обеспечивается регулятором частоты вращения ВК, а режим переменной частоты вращения ВК – системой генерирования электроэнергии с использованием балластного сопротивления.

Системные и сетевые ВЭУ в режиме постоянной частоты вращения ВК при скоростях ветра больших расчётным значениям могут вырабатывать мощность, превышающую их номинальные значения. Чтобы избежать возможных перегрузок, ВЭУ, кроме системы регулирования частоты вращения ВК, должны иметь ещё и системы ограничения мощности.

Требования назначения. В технических условиях и эксплуатационной документации ВЭУ конкретного типа должны быть приведены значения расчётной, буревой, минимальной рабочей и максимально рабочей скоростей ветра ВА.

ВЭУ, предназначенные для работы с электронагревательными приборами, электронасосами и с нагрузками других видов, должны иметь в своём составе устройства, обеспечивающие значение мгновенной мощности нагрузки, близкой к характеристике максимальной мощности ВА в диапазоне от минимальной рабочей до расчётной скорости ветра. В обос-

нованных случаях допускается ступенчатое регулирование мощности нагрузки.

ВЭУ, работающая на электродвигательную нагрузку, должна иметь в своём составе устройство, обеспечивающее надёжный пуск электродвигателя на холостом ходу во всём диапазоне скоростей ветра. В технических условиях на ВЭУ должны быть указаны условия пуска двигателя с нагрузкой.

Требования к конструкции. В конструкции ВЭУ массой более 1 т должны быть предусмотрены места крепления тросов при монтаже и демонтаже ВЭУ различными способами.

В нижней части башни (мачты) должна быть предусмотрена установка соединительной коробки (щита) для подключения к внешней электрической сети.

ВЭУ должна быть автоматизирована. В обязательный объём автоматизации входят:

- ограничение частоты вращения ВК при высоких скоростях ветра;
- автоматическая ориентация ВК по направлению ветра (при ВА с горизонтально-осевым ветродвигателем);
- защита электрических цепей ВЭУ от токов короткого замыкания и перегрузок.

Кроме того, ВЭУ, работающие совместно с ДЭС и другими типами автономных источников, а также входящие в состав ВЭС, работающих на стационарную электрическую сеть, должны иметь следующий минимальный объём дополнительной автоматизации:

- автоматическое включение на параллельную работу при достижении минимальной рабочей скорости ветра при соблюдении ограничений по току включения;

- автоматическое включение и останов ВЭУ при снижении скорости ветра ниже минимальной, выходе из строя токосъёмного устройства или при предельном допустимом закручивании кабеля;

- возможность дистанционного управления ВЭУ мощностью выше 30 кВт;

- автоматическое отключение и останов ВЭУ при скорости ветра выше максимальной рабочей скорости, а также при возникновении недопустимо высокого уровня вибраций основных частей ВА;

- автоматический пуск в работу.

Требования к электрическим параметрам. Допустимая перегрузка генератора ВЭУ по току и мощности и время работы при перегрузках должны соответствовать требованиям стандартов или технических условий на генератор конкретного типа.

Мощность собственных нужд не должна превышать 10% установленной мощности генераторов ВЭУ.

Установившееся отклонение частоты тока при работе на нагрузку в рабочем диапазоне скоростей ветра и изменении нагрузки от холостого хода до мощности, удовлетворяющей расчётной характеристике ВЭУ при соответствующей скорости ветра, не должна быть более:

- для автономных ВЭУ мощностью до 5 кВт включительно $\pm 5\%$;

- для автономных ВЭУ мощностью свыше 5 кВт и ВЭУ гарантированного электроснабжения $\pm 3\%$;

- переходное отклонение частоты тока не более $\pm 10\%$.

Установившееся отклонение напряжения на выходе ВЭУ в рабочем диапазоне скоростей ветра при снижении и увеличении нагрузки от холостого хода до мощности, удовлетворяющей расчётной характеристике ВЭУ при соответствующей скорости ветра, не должно быть более:

- для автономных ВЭУ мощностью до 5 кВт включительно $\pm 10\%$;

– для автономных ВЭУ мощностью свыше 5 кВт различного назначения $\pm 8\%$.

Переходное отклонение напряжения на выходе ВЭУ не должно быть более $\pm 20\%$ номинального значения.

Время переходного процесса при снижении и увеличении нагрузки от холостого хода до мощности, удовлетворяющей расчётные характеристики ВЭУ не должно быть более 5 с.

Коэффициент несинусоидальности кривой выходного напряжения не должен быть более:

- для ВЭУ трёхфазного тока частотой 50 Гц 5%;
- для ВЭУ однофазного тока трёхфазного тока частотой свыше 50 Гц $\pm 8\%$.

Коэффициент несинусоидальности кривой тока в линии «ВЭС – электрическая сеть» не должен быть более 10%.

Требования надёжности. Значения показателей надёжности должны быть установлены в технических заданиях и технических условиях на ВЭУ конкретных видов. Для ВЭУ устанавливают следующие основные показатели надёжности:

- средний срок службы $T_{СЛ}$, лет;
- средний ресурс до капитального ремонта T_R , ч;
- средняя наработка до отказа T_H , ч;
- среднее время восстановления T_B , ч.

Значительно повышаются показатели ВЭУ при использовании в их конструкции бесконтактных генераторов электроэнергии [3, 4]. Повысить показатели надёжности ВЭУ можно также за счет отказа от механических стабилизаторов частоты вращения ветроколеса, а стабилизацию частоты тока осуществлять непосредственным преобразователем частоты [5].

Требования безопасности. Электрическая изоляция токоведущих частей электрооборудования ВЭУ электрических цепей номинальным

напряжением 230 и 240 В должна выдержать без повреждения в течении 1 мин синусоидальное напряжение 1500 и 1800 В с частотой 50 Гц.

Сопротивление электрической изоляции отдельных разобъединенных силовых цепей напряжением 230 и 400 В между собой и по отношению к корпусу в холодном состоянии должно быть не ниже 20 МОм, в горячем состоянии – не ниже 3 МОм.

Конструкцией ВЭУ должна быть предусмотрена защита от ударов молнии посредством использования молниеотводов, обеспечивающих прохождение тока разряда молнии, минуя подшипники лопастей и главного вала ВА.

ВЭУ мощностью выше 4 кВт должны иметь как минимум две независимые системы торможения ВА – рабочую и аварийную.

Требования охраны окружающей среды. Уровень звука, создаваемый одиночной ВЭУ на расстоянии 50 м от ВЭУ на высоте 1,5 м от уровня земли, не должен превышать 60 дБА.

В жилых и общественных помещениях вблизи ВЭУ во всех случаях уровень звука работающих ВЭУ не должен превышать 60 дБА, инфразвука – 100 дБА.

В общем случае определяющим фактором при проектировании ВЭУ является расчет их экономической эффективности [6].

Список литературы

1. Григораш О.В. Возобновляемые источники электроэнергии / О.В. Григораш, Ю. П. Степура, Р. А. Сулейманов и др. Краснодар, 2012, с. 272.
2. Григораш О.В. Автономные источники электроэнергии: Состояние и перспективы / О. В. Григораш, С. В. Божко, А. Ю. Попов и др. – Краснодар 2012. с. 174.
3. Григораш О. В. Стабилизатор напряжения и частоты ветроэнергетической установки / О. В. Григораш, А. В. Квитко, Ю. М. Петренко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2010. Т.1. № 26. С. 140-143.
4. Григораш О.В., Гарькавый К. А., Квитко А.В., и др. Устройство стабилизации напряжения и частоты ветроэнергетической установки / Патент на изобретение RUS 2443903. 12.05.2010.

5. Григораш О.В., Квитко А.В., Алмазов В.В. и др. Непосредственный трехфазный преобразователь частоты естественной коммутацией / Патент на изобретение RUS 2421867. 12.05.2010.

6. Григораш О.В. К расчету экономической эффективности ветроэлектрических установок / О. В. Григораш, Р. А. Сулейманов, А. В. Квитко и др. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2011. Т.1. № 33. С. 192-195.

References

1. Grigorash O.V. Vozobnovljaemye istochniki jelektroenergii / O.V. Grigorash, Ju. P. Stepura, R. A. Sulejmanov i dr. Krasnodar, 2012, s. 272.

2. Grigorash O.V. Avtonomnye istochniki jelektroenergii: Sostojanie i perspektivy / O. V. Grigorash, S. V. Bozhko, A. Ju. Popov i dr. – Krasnodar 2012. s. 174.

3. Grigorash O. V. Stabilizator naprjazhenija i chastoty vetrojenergeticheskoj ustanovki / O. V. Grigorash, A. V. Kvitko, Ju. M. Petrenko // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2010. T.1. № 26. S. 140-143.

4. Grigorash O.V., Gar'kavyj K. A., Kvitko A.V., i dr. Ustrojstvo stabilizacii naprjazhenija i chastoty vetrojenergeticheskoj ustanovki / Patent na izobretenie RUS 2443903. 12.05.2010.

5. Grigorash O.V., Kvitko A.V., Almazov V.V. i dr. Neposredstvennyj trehfaznyj preobrazovatel' chastoty estestvennoj kommutaciej / Patent na izobretenie RUS 2421867. 12.05.2010.

6. Grigorash O.V. K raschetu jekonomicheskoj jeffektivnosti vetrojelektricheskikh ustanovok / O. V. Grigorash, R. A. Sulejmanov, ju A. V. Kvitko i dr. // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. T.1. № 33. S. 192-195.