

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2026-52-70-74>

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СХЕМЫ ЕЕ УПРАВЛЕНИЯ

Матвеев Ю.В.

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, емкость аккумуляторов, генератор, ветроэлектрическая установка, электроэнергия, скорость ветра.

Аннотация. Главной задачей ветроэлектрической установки является обеспечение потребителей электроэнергией заданного качества и мощности. Для решения этой задачи необходимо осуществить правильный выбор характеристик и режимы работы ветроустановки. С этой целью в статье рассматриваются вопросы энергоэффективности ветроэлектрических установок от совершенствования схемы ее управления и учета факторов, сопровождающих ее работу.

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF A STAND-ALONE WIND TURBINE BY IMPROVING ITS CONTROL SCHEME

Matveev Yu.V.

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Keywords: battery, battery capacity, generator, wind turbine, electricity, wind speed.

Abstract. The main objective of a wind turbine is to provide consumers with electricity of a specified quality and power. To achieve this, it is necessary to correctly select the wind turbine's characteristics and operating modes. To this end, this article examines the energy efficiency of wind turbines, including improving their control system and considering the factors that accompany their operation.

Введение

Энергоэффективность работы автономной ветроэлектрической установки (ВЭУ) зависит от многих факторов, учитываемых при разработке схемы ее управления.

Управление работой ВЭУ осуществляется в следующих режимах:

1. Автоматическая коммутация нагрузок на сеть или инвертор в зависимости от состояния заряда аккумуляторной батареи (АБ), наличия достаточной генерируемой мощности синхронного генератора (СГ) и наличия сетевой энергии.

2. Адаптивное управление отбором мощности. Оно осуществляется следующим образом:

– при пуске ветроколеса, в случае разряженной АБ нагрузка отключается от инвертора, а в случае заряженной АБ – подключается к инвертору;

– при скорости ветра от 3 до 11 м/с нагрузка подключена к генератору и идет процесс заряда АБ;

– для стабилизации скорости вращения ветроколеса в случае, если мощность, вырабатываемая генератором, превышает потребляемую мощность, а АБ заряжена, избыток мощности идет на балластную нагрузку;

– при уменьшении числа оборотов ветроколеса и снижении мощности, отдаваемой генератором, мощность забирается с АБ, а скорость вращения ветроколеса стабилизируется регулировкой потерь мощности на балластной нагрузке.

3. Режим контроля за состоянием батареи и соблюдением режимов работы, обеспечивающих продление срока службы батареи при сохранении потребительских свойств. При этом режиме осуществляется:

- обеспечение нормального режима заряда и разряда аккумулятора, включенного через зарядно-разрядное устройство с ограничением тока заряда;
- недопущение перезаряда аккумулятора;
- недопущение полного разряда аккумулятора.

4. Режим электронной защиты от:

- перегрузки;
- короткого замыкания со стороны нагрузки;
- ошибки подключения полярности аккумулятора.

В качестве примера сделаем вначале расчет основных параметров трехлопастной ВЭУ вертикально-осевого типа и выберем диаметр ветроколеса, задавшись суммарной мощностью потребителей порядка $P_{\text{потр.}} = 1000$ Вт и расчетной скоростью ветра значение $V_{\text{расч.}} = 10$ м/с [1]:

$$D = \sqrt{\frac{8P_{\text{потр.}}}{\xi r \pi \eta_{\text{общ.}} V_{\text{расч.}}^3}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 1000}{0,35 \cdot 1,225 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 10^3}} = 3,45 \text{ м},$$

где D – диаметр ветроколеса, $P_{\text{потр.}}$ – суммарная мощность всех потребителей энергии, $V_{\text{расч.}}$ – расчетная скорость ветра, $\xi \approx 0,35$ – значение коэффициента использования энергии ветра, $\eta_{\text{общ.}} \approx 0,5$ – значение общего КПД установки, ρ – плотность воздуха (стандартное значение 1,225 кг/м³). Тогда требуемая мощность генератора составит:

$$P_{\text{г.}} = \frac{P_{\text{потр.}}}{\eta_{\text{ак.}} \cdot \eta_{\text{инв.}} \cdot \eta_{\text{г.}}} = \frac{1000}{0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,85} = 1537 \text{ Вт},$$

где $\eta_{\text{ак.}}$ – значение КПД аккумулятора, $\eta_{\text{инв.}}$ – значение КПД инвертора, $\eta_{\text{г.}}$ – значение КПД генератора на постоянных магнитах ($\approx 0,8 \dots 0,85$).

В следующих расчетах примем мощность генератора, равной $P_{\text{г.}} = 1500$ Вт.

Далее найдем номинальное (расчетное) число оборотов вала генератора, приняв для ветроколеса с тремя лопастями значение быстроходности $Z_{\text{ном.}} = 5$ и значение расчетной скорости ветра $V_{\text{расч.}} = 10$ м/с [2]:

$$n_{\text{ном.}} = \frac{60 Z_{\text{ном.}} V_{\text{расч.}}}{\pi D} = \frac{60 \cdot 5 \cdot 10}{3,14 \cdot 3,45} = 277 \text{ об/мин.}$$

Для расчетной скорости ветра значение $V_{\text{расч.}} = 8$ м/с номинальное число оборотов генератора составит $n_{\text{ном.}} = 222$ об/мин. После оценки мощности

ВЭУ можно определить мощность ветроустановки с учетом коэффициента запаса:

$$P_{\text{ВЭУ}} = \frac{P_{\text{г.}}}{k_3},$$

где k_3 – коэффициент запаса ($\approx 0,8 \dots 0,85$).

Определив мощность ветроустановки $P_{\text{ВЭУ}}$ с учетом коэффициента запаса, можно определить длину лопасти ветроколеса H , через выражение [3]:

$$P_{\text{ВЭУ}} = 0,605 C_p \cdot D H V_{\text{расч.}}^3,$$

где C_p – коэффициент использования энергии ветра по мощности, принимающий для ротора Дарье значения $0,35 \dots 0,4$.

Тогда длина лопасти составит:

$$H = \frac{P_{\text{ВЭУ}}}{0,605 \cdot C_p \cdot D \cdot V_{\text{расч.}}^3} = \frac{1537}{0,605 \cdot 0,4 \cdot 3,45 \cdot 10^3} \approx 2 \text{ м.}$$

При разработке схемы системы управления учитывались следующие параметры элементов установки.

1. Параметры генератора:

- трехфазный;
- фазное напряжение $U_{\phi} = 28,5 \text{ В}$;
- линейное напряжение $U_{\text{л}} = 49,4 \text{ В}$;
- ток нагрузки $I_{\text{н}} = 20,18 \text{ А}$;
- число оборотов $n_{\text{н}} = 250 \text{ об/мин}$;
- полезная мощность 1500 Вт .

2. Трансформатор трехфазный. Соединение обмоток трехфазного понижающего трансформатора можно осуществить по схеме $Y-Y$. Так как напряжение заряда АБ должно составлять 56 В , а напряжение на фазе обмотки трехфазного трансформатора составляет 127 В , то коэффициент трансформации примет значение, равное $127 \times 2,34 / 56 = 5,3$.

3. Выпрямитель. Выпрямитель удобно выполнить по трехфазной мостовой двухполупериодной схеме, тогда выпрямленное напряжение составит 56 В и определится, как:

$$U_0 = 2,34 U_2,$$

где U_2 – напряжение на фазе нагрузки.

4. Аккумуляторы. При зарядке постоянным током наиболее распространенным является режим, который состоит из двух стадий. Первая стадия заряда производится до тех пор, пока напряжение на батарее 12 В не достигнет $14,2 \text{ В}$ ($\approx 2,4 \text{ В}$ на каждом аккумуляторе). Затем сила зарядного тока уменьшается вдвое. Зарядка АБ производится постоянным током и напряжением, не превышающим $4 \times 14,2 = 56,8 \text{ В}$.

5. Инвертор. Параметры инвертора:

- входное напряжение (постоянное) 48 В ;
- выходное напряжение (переменное), $220 \pm 10 \% \text{ В}$.

На рисунке 1 изображена функциональная схема системы управления ВЭУ.

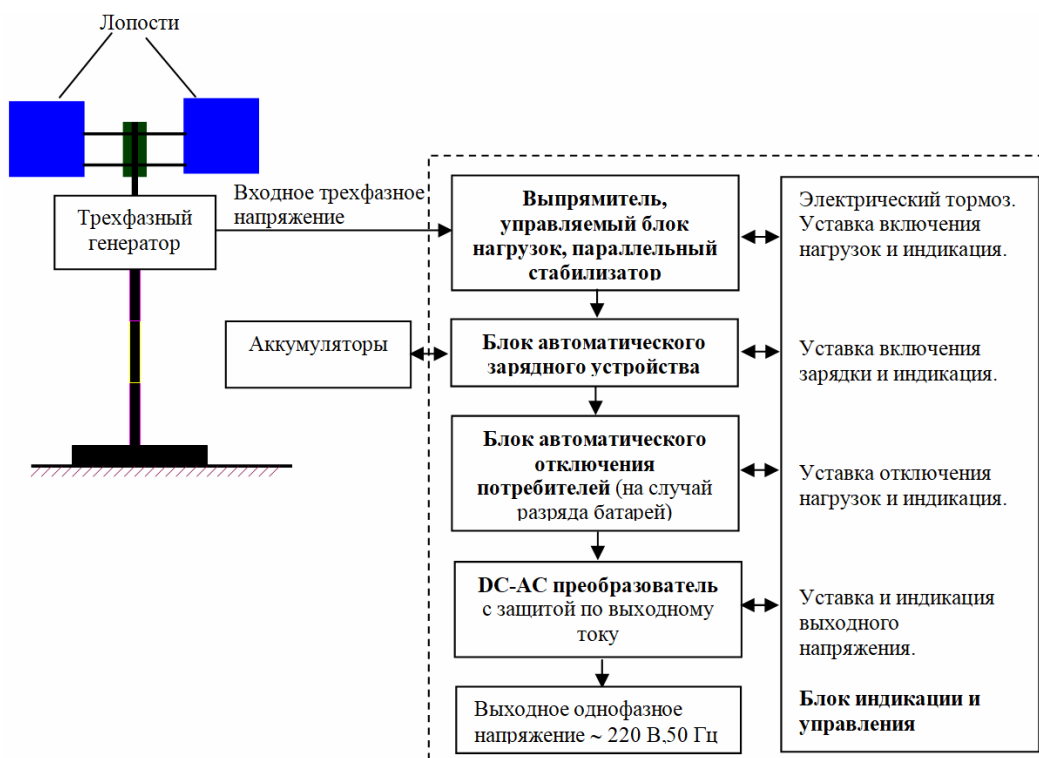


Рис. 1. Функциональная схема системы управления ВЭУ

Принцип работы схемы системы управления ВЭУ заключается в следующем.

Напряжение, вырабатываемое генератором, подается на трехфазный трансформатор, а с выхода последнего — на выпрямитель. Для дополнительной стабилизации напряжение с выхода выпрямителя подается на стабилизатор напряжения, а с его выхода — на схему системы управления. Первый модуль, предназначенный для заряда АБ, содержит импульсный стабилизатор напряжения с ограничителем по току, настроенным на максимальный ток. Второй модуль содержит импульсный коммутатор нагрузки. Он вступает в работу, если потребители и заряд аккумулятора не выбирают производимую в данный момент мощность.

Для обеспечения гарантированного электроснабжения потребителей при изменениях скорости ветра в широких пределах, схема управления должна перераспределять полученную энергию между потребителями, зарядкой АБ и балластной нагрузкой.

Вывод. Более эффективное применение ВЭУ для нужд электроснабжения зависит качественной работы схемы ее управления.

Список литературы

1. Шефтер Я.И., Рождественский И.В. Ветронасосные и ветроэлектрические агрегаты. – М.: Колос, 1967. – 376 с.
2. Твайделл Д., Уэйр М. Возобновляемые источники энергии. – М.: ЭАИ, 1990. – 239 с.
3. Де Рензо Д. Ветроэнергетика. Пер. с англ.; под. ред. Я.И. Шефтера. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.

References

1. Shefter Ya.I., Rozhdestvensky I.V. Veronesse and wind power units. – M.: Kolos, 1967. – 376 p.
2. Twydell D., Ware M. Renewable energy sources. – M.: EAI, 1990. – 239 p.
3. De Renzo D. Wind energy. Trans. by eng.; ed. Ya.I. Schefter. – M.: Energooatomizdat, 1982. – 272 p.

Матвеев Юрий Валентинович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры “Судовое электрооборудование”	Matveev Yuri Valentinovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department “Ship electrical equipment”
yuriy-radio@mail.ru	

Received 26.02.2026