

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В АВТОНОМНЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

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 резервного источника питания. С этой целью в статье рассматриваются особенности аккумулирования электрической энергии в ветроэлектрических установках, а также приводятся расчеты параметров и анализируется выбор аккумуляторных батарей в зависимости от условий эксплуатации ветроэлектрических установок.

FEATURES OF ELECTRIC ENERGY STORAGE IN AUTONOMOUS LOW-POWER WIND TURBINES

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 power plant is to provide consumers with electricity of the required quality and power. To achieve this objective, it is necessary to choose the correct characteristics and operating modes of the backup power source. To this end, the article discusses the features of electrical energy storage in wind power plants, provides calculations of parameters, and analyzes the selection of batteries based on the operating conditions of wind power plants.

К ветроэлектрическим установкам (ВЭУ) постоянного тока малой мощности относят установки мощностью порядка до 10 кВт. Применение постоянного тока в установке связано с аккумулированием энергии ветра с помощью аккумуляторных батарей (АБ), которые являются резервными источниками электроэнергии в периоды безветрия. При этом емкость АБ нужно выбирать, исходя из длительности и повторяемости этих периодов. Приближенный расчет емкости АБ можно осуществить методом суточных балансов энергии, заключающийся в составлении балансов суточной выработки и потребления энергии на каждые сутки этого периода. Суточная выработка установки может быть вычислена по формуле [1]:

$$W_{\text{выр.сут.}} = 4,81 \cdot 10^{-4} D^2 \xi \eta_{\text{п}} \eta_{\text{Г}} \int_0^{T_{\text{с}}} V^2 dt,$$

где $W_{\text{выр.сут.}}$ – суточная выработка установки (кВтч); V – скорость ветра (м/с); $T_{\text{с}}$ – суточный период времени (ч); D – диаметр ветроколеса (м); t – время (с); ξ – коэффициент использования энергии ветра; $\eta_{\text{п}}$ – коэффициент полезного

действия (КПД) механической передачи; η_r – коэффициент полезного действия генератора ВЭУ.

Ввиду отсутствия достаточного количества наблюдений, точное определение суточной выработки энергии невозможно. В таких расчетах используют величины среднесуточной скорости ветра $V_{\text{ср.сут.}}$ за длительный период времени по данным метеостанций. Такая зависимость может быть выражена с помощью графика или уточнена с введением коэффициента поправки, определяемого по выражению [2]:

$$k_{\Pi} = f(V_{\text{ср.сут.}}) = \frac{\int_0^{T_c} V^2 dt}{T_c \cdot V_{\text{ср.сут.}}^3},$$

где $V_{\text{ср.сут.}}$ – среднесуточная скорость ветра (м/с); $f(V_{\text{ср.сут.}})$ – функциональная зависимость от среднесуточной скорости ветра $V_{\text{ср.сут.}}$.

В таком случае, умножая коэффициент поправки на $V_{\text{ср.сут.}}^3$, можно найти величину действительной выработки установки $W_{\text{выр.сут.}}$.

Далее, по разнице между возможной выработкой ВЭУ энергии и суточным потреблением можно будет определить необходимое количество электрической энергии запасаемой в аккумуляторе:

$$W_{\text{акум.сут.}} = W_{\text{потр.сут.}} - W_{\text{выр.сут.}},$$

где $W_{\text{выр.сут.}}$ – выработка ВЭУ электрической энергии за сутки; $W_{\text{потр.сут.}}$ – количество электрической энергии, потребляемой нагрузкой за сутки; $W_{\text{акум.сут.}}$ – требуемое количество электрической энергии запасаемой в аккумуляторе за сутки.

Окончательно, общая емкость АБ будет зависеть от числа суток n , в течение которых они должны будут питать нагрузку через выражение $(n \cdot W_{\text{акум.сут.}})$, деленное на величину их КПД. В зависимости от изменений скорости ветра и величины нагрузки ВЭУ может работать в одном из следующих режимов [3]: 1) ВЭУ заряжает АБ без внешней нагрузки; 2) ВЭУ заряжает АБ и одновременно питает внешнюю нагрузку; 3) ВЭУ и АБ работают параллельно на внешнюю нагрузку; 4) ветра нет, а внешнюю нагрузку питает АБ. Как правило, АБ работает в составе ВЭУ в смешанном режиме, переходящем с режима заряд-разряд в периоды отсутствия нагрузки или ветра, на режим постоянного подзаряда при наличии ветра и внешней нагрузки. Поскольку величина зарядного тока зависит от разности напряжения генератора и аккумуляторной батареи, то отдача ВЭУ, работающей на заряд батареи при заданной скорости вращения вала генератора, зависит от степени заряженности батареи. Чем меньше заряжена батарея и, следовательно, ниже напряжение на ее клеммах, тем больше будут зарядный ток и отдача генератора при условии достаточной мощности ВЭУ. При недостатке этой мощности, скорость вращения агрегата снизится и

генератор перейдет на работу по более сниженной внешней характеристике генератора, при работе по которой отдача генератора и зарядный ток батареи уменьшатся в соответствии с располагаемой мощностью ВЭУ. Рассмотрим условия заряда и разряда АБ и распределения нагрузки между нею и генератором ВЭУ при параллельной их работе. Если принять зарядный ток батареи положительным, получим выражение силы тока во внешней нагрузке:

$$I = I_{\Gamma} - I_{\text{Б}},$$

где I – величина тока во внешней нагрузке; I_{Γ} и $I_{\text{Б}}$ – сила тока генератора и батареи соответственно.

Тогда напряжение U на сборных шинах будет равно:

$$U = E_{\Gamma} - I_{\Gamma} R_{\Gamma} = E_{\text{Б}} + I_{\text{Б}} R_{\text{Б}},$$

где U – напряжение на сборных шинах; E_{Γ} – ЭДС генератора; $E_{\text{Б}}$ – ЭДС батареи; R_{Γ} – сопротивление цепи якоря генератора; $R_{\text{Б}}$ – внутреннее сопротивление батареи и соединительных проводов.

Тогда разность между ЭДС генератора E_{Γ} и ЭДС батареи $E_{\text{Б}}$ составит:

$$\Delta E = E_{\Gamma} - E_{\text{Б}} = I_{\text{Б}} (R_{\Gamma} + R_{\text{Б}}) + IR_{\Gamma},$$

где ΔE – разность между ЭДС генератора E_{Γ} и ЭДС батареи.

В первом режиме (при отсутствии внешней нагрузки ($I = 0$)) генератор работает только на заряд батареи. Рассмотрим второй режим. Если увеличивается значение тока во внешней нагрузке I при постоянной величине ΔE , зарядный ток АБ $I_{\text{Б}}$ будет уменьшаться. Когда нагрузка I увеличится настолько, что $\Delta E = IR_{\Gamma}$, заряд АБ прекратится ($I_{\text{Б}} = 0$). При дальнейшем увеличении нагрузки, когда $IR_{\Gamma} > \Delta E$, может наступить третий режим. Ток, протекающий в АБ ($I_{\text{Б}}$) переменит знак, так как батарея будет разряжаться и питать внешнюю нагрузку вместе с генератором. Если величина внешней нагрузки будет постоянна, а E_{Γ} и $E_{\text{Б}}$ будут изменяться, то при большей величине E_{Γ} ток батареи будет зарядным, а при большей величине $E_{\text{Б}}$ – разрядным. При $E_{\Gamma} = E_{\text{Б}} + IR_{\Gamma}$ ток батареи будет равным $I_{\text{Б}} = 0$. Когда ветра нет наступает четвертый режим. При нем нагрузка питается только от АБ, причем $I_{\text{Б}} = I$, а напряжение на шинах будет $U = E_{\text{Б}} - IR_{\text{Б}}$. Распределение нагрузки при параллельной работе ветродвигателя и АБ зависит от внешних характеристик генератора и АБ. Для сохранности батареи и приемников энергии режим заряда батареи должен удовлетворять определенным условиям. В начале заряда напряжение АБ мало и наибольший зарядный ток не должен превосходить допустимого для данного типа и емкости батареи. К концу заряда он будет уменьшаться. Для осуществления такого режима напряжение генератора в течение заряда должно оставаться постоянным и близким к номинальному. Важным фактором при эксплуатации АБ является соблюдение нормального режима работы АБ. Проблема заключается в том,

что с понижением температуры снижается емкость и напряжение на клеммах АБ. Продолжительности периодов заряда и разряда батареи можно определить, пользуясь характерными суточными графиками скорости ветра для зимних и летних суток, а также графиком нагрузки. В общем плане расчеты показывают, что ВЭУ должна вырабатывать электроэнергии примерно в полтора раза больше, чем требуется для суточного потребления.

Выводы. Эффективное применение автономных ВЭУ для нужд электроснабжения в отдаленных районах определяется не только наличием ветрового потенциала и устойчивостью ее работы в широком диапазоне скоростей ветра, но и соблюдением режима заряда-разряда при аккумулировании АБ электроэнергии.

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 / Под. ред. Я.И. Шефтера. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.

References

1. Shefter J.I., Rozhdestvensky I.V. Wind pumps 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 / Edited by. J.I. Schefter. – M.: Energoatomizdat, 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 31.10.2025