

ЭЛЕКТРИКА

2
2015

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНЫЙ, ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с января 2001 г.

Главный редактор
журнала
канд. техн. наук
СЕРГЕЕВ С. А.

Заместитель
главного редактора
канд. техн. наук
БИРЮЛИН В. И.

Члены редакционной
коллегии

**АВЕРБУХ М. А.
АРТЮХОВ И. И.
ГАШИМОВ А. М.
ГРАЧЁВА Е. И.
ЕМЕЛЬЯНОВ С. Г.
ЕРОШЕНКО Г. П.
ЗЮЗИН А. В.
КОБЕЛЕВ Н. С.
КРИВОВ Ю. Н.
КУВШИНОВ Г. Е.
МИЛЫХ В. И.
ОРАЛОВ П. С.
ПЕРЕДЕЛЬСКИЙ Г. И.
ПОДЧУКАЕВ В. А.
ПОЛУНИН В. М.
СЕРЕБРОВСКИЙ В. И.
СИВЯКОВ Б. К.
СМОЛЕНЦЕВ Н. И.
СМОЛОВИК С. В.
СОШИНОВ А. Г.
ТИМОШЕНКО А. В.
ТУРОВ В. Е.
ФИЛОНОВИЧ А. В.
ХОШМУХАМЕДОВ И. М.**

Ответственный секретарь
ГОРЛОВ А. Н.

Редактор
ТРОФИМОВА Н. К.

За достоверность информации и ре-
кламы ответственность несут авторы и
рекламодатели.

При использовании материалов жур-
нала (в любой форме) ссылка на жур-
нал «Электрика» обязательна.

Адрес редакции:
105425, Москва, Сиреневый
бульвар, д. 14, корп. 1.
Тел. (499) 164-47-74.

E-mail:
prmi79@mail.ru
admin@nait.ru
www.nait.ru
© ООО «Наука и технологии», 2015

ВНИМАНИЕ!

Уважаемый читатель, Вы получили номер журнала с голограммой на первой стороне обложки. Это означает, что этот экземпляр журнала является оригинальным, выпущенным научно-техническим издательством ООО "Наука и технологии". Если голограмма отсутствует, экземпляр журнала — контрафактный. В этом случае убедительная просьба сообщить в издательство, в какой фирме был приобретен этот экземпляр журнала, по телефону (495) 223-09-10, факсу (499) 164-47-74 или e-mail: market@nait.ru.

Благодарим за сотрудничество.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО: ПРОБЛЕМЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Казанцев А. А., Инаходова Л. М. Значение характеристических коэффициентов при определении технического состояния мини-ТЭЦ	2
Казанцев А. А., Инаходова Л. М. Электромагнитная совместимость в мини-ТЭЦ	5
Грачёва Е. И., Шагидуллин А. В. Вероятностные модели зависимости эквивалентного сопротивления радиальных цепей от основных параметров оборудования	7
Локтионов А. П. Об определении мест повреждения в электрических сетях средствами систем управления сетями	13
Шедрина Г. Г., Моржавин А. В. Некоторые аспекты теплообмена навесных вентилируемых фасадов	16
Токарь М. Н. Анализ свойств материалов магнитопроводов электрических аппаратов	20

НОВОЕ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ: ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ

Поливанова Т. В., Бокинов Д. В., Можайкин В. В., Поливанова С. А. Использование бесструнных технологий при строительстве и реконструкции трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения	23
---	----

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Шевченко В. В., Наний В. А., Горюшкин Н. И. Предложения по выбору типа электрического генератора для малых ветроэнергетических установок	26
--	----

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИКИ

Рудченко Ю. А. Анализ работы автоколебательного асинхронного электропривода	32
---	----

ИНФОРМАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА

Бирюлин В. И., Куделина Д. В. Проблемы построения систем мониторинга потребления энергоресурсов	36
---	----

УДК 621.313.12

Предложения по выбору типа электрического генератора для малых ветроэнергетических установок

В.В. Шевченко, канд. техн. наук, *zurbagan@mail.ru*,

В.В. Наний, канд. техн. наук,

Н.И. Горюшкин, магистр

Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина

Проблемы электроэнергетики привели к активизации работ по поиску и более активному внедрению в общую энергетику возобновляемых источников энергии и, прежде всего, ветроэнергетики. Проблемным остается выбор типа генератора для ветроэнергетических установок (ВЭУ): анализ технических решений, направленных на повышение их КПД, снижение порога минимальной скорости ветра и расширение территории их возможного использования.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветроэнергетическая установка, генератор ветроустановки, генератор с постоянными магнитами.

The problems of electric power led to intensification of works for search and more active implementation of the renewable energy sources in the overall power, especially the wind power. Selection of a generator type for wind turbines is still problematic. It is necessary to analyze technical solutions to increase an efficiency and to solve other problems. Increase an efficiency and reducing a threshold of a minimum wind speed and expanding a territory of possible use of the means are considered.

Keywords: wind power, wind power plant, wind power generator, permanent magnet generator.

Введение

Основные цели энергетической стратегии Украины на период до 2030 г. определены как следующие [1]:

- эффективное развитие и обеспечение безопасного, надежного и устойчивого функционирования объектов энергетики, снижение энергоемкости всех видов производства с обеспечением промышленности и населения страны энергоресурсами в необходимых объемах. Снижение энергоемкости производства от 0,48 кг у.т./грн. до 0,24 кг у.т./грн. за счет использования современных приемов структурного и технологического энергосбережения;

- уменьшение техногенной нагрузки на окружающую среду и обеспечение техногенной безопасности на энергетических объектах путем оптимизации структуры производства электроэнергии по видам топлива. Обеспечение растущего спроса на электроэнергию за счет

модернизации ТЭС, продления срока эксплуатации АЭС, модернизация электрических сетей, а после 2018 г. — достижение поставленных целей за счет введения новых генерирующих мощностей;

- повышение уровня энергетической безопасности страны за счет снижения уровня энергетической зависимости от внешних поставок топлива от 54,5% до 11,7% [1] путем увеличения объемов использования собственных запасов угля, урана и газа, интенсивного развития нетрадиционных и восстанавливаемых источников энергии, добывающими украинскими компаниями нефти и газа за пределами Украины;

- интеграция Объединенной энергетической системы в европейскую систему с последовательным увеличением объемов экспорта электроэнергии;

- развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в долгосрочной перспективе

должно происходить на основе конкуренции с традиционными источниками, с учетом потенциальных выгод от их развития.

Традиционные способы получения электроэнергии от невозобновляемых источников (уголь, газ, нефть, уран) на АЭС, ТЭС, ТЭЦ имеют ряд ограничений. После Чернобыльской катастрофы развитие атомной энергетики осуществляется с большой осторожностью и даже испытывает противодействие. События в Японии (АЭС «Фукусима», март 2011 г.) еще в большей степени ограничили постройку объектов атомной энергетики, которая во многих странах остается основной (Германия, Франция, США и т.д.). Износ электрооборудования (ЭО) классических ТЭС, конечно, запасов органического топлива, проблемы экологии заставляют говорить не только о невозможности перспективного развития тепловой энергетики, но и о самой возможности ее существования [2], хотя это отражено в обновленном варианте энергетической стратегии Украины до 2030 г. [1].

Поэтому в течение последних 40—50 лет непрерывно растет интерес к возобновляемым источникам энергии и, прежде всего, к ветроэнергетике, которая наряду с малой гидроэнергетикой является наиболее перспективным направлением для Украины [1]. Перспективное направление развития ВИЭ на Украине связано с ветроэнергетикой, которая может стать экономически рентабельной за счет снижения удельных капитальных затрат на строительство ветроэнергетических установок (ВЭУ) и правильного выбора комплектующих элементов. Этому вопросу посвящено много работ, но нет конкретных рекомендаций по выбору электрогенератора для ВЭУ с учетом его мощности. Актуальной остается проблема выбора конструкций ВЭУ по условиям повышения их КПД, снижения порога минимально допустимой скорости ветра и, соответственно, расширения территории их возможного использования.

Рассмотрение основных вопросов

Преимущества ветроэнергетики — возможность создания генерирующих электроустановок в непосредственной близости к потребителю. Анализ мирового рынка позволяет говорить о том, что для нормальной жизнедеятельности удаленных потребителей энергии (поселки в горах, степях, отдельные фермерские хозяйства, кордоны лесников и т.д.) в среднем достаточ-

но 1 кВт/чел. Поэтому для Украины, России, стран Ближнего Востока (Афганистан, Иран, Индия и др. страны) с рассредоточением населения по большой территории необходимы установки небольшой мощности (5—10 кВт). Для европейских стран целесообразны ВЭУ мощностью до 100—150 кВт. В настоящее время удельная стоимость ВЭУ составляет около 1100—1200 долл./кВт. Поэтому при создании новых типов ВЭУ следует ставить задачу по снижению стоимости до 900—1000 долл./кВт. Малая ветроэнергетика не требует больших территорий. Локальные ВЭУ могут быть установлены практически везде, где среднегодовая скорость ветра — не менее 4—5 м/с [2].

В первых ВЭУ всех типов и мощностей в качестве генерирующей единицы использовали асинхронную машину (АМ). Действительно, асинхронные машины являются самыми простыми устройствами на этапах расчета, проектирования, изготовления и обслуживания, самыми надежными, дешевыми и легкими машинами (кВт/кг). Но при использовании в автономном генераторном режиме они нуждаются в источнике реактивной энергии. Последнее снижает надежность ВЭУ. Проведенный анализ литературы и данных научных исследований позволяет сделать вывод, что оценка выбора типа электрогенератора в зависимости от диапазона установленной мощности, влияния скорости ветра и устойчивости «розы ветров» конкретного региона на энергетические параметры, надежность и КПД разных типов генераторов не выполнялись [2—4].

Проведем оценку энергетических параметров системы ВЭУ для случая, когда в качестве генератора используется асинхронная машина. Мощность асинхронного генератора (АГ), установленного в ВЭУ, Вт:

$$P = C_p \cdot \frac{\rho \cdot v^3}{2} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \eta_{el} \cdot \eta_{mech},$$

где C_p — коэффициент использования энергии ветра; ρ — плотность воздуха ($\rho = 1,23 \text{ кг}/\text{м}^3$ при температуре $t = 15^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении 760 мм рт. ст.); v — средняя скорость ветра (по результатам гидрометцентра, данные «розы ветров»), м/с; D — наружный диаметр ветроколеса, м; η_{el} — КПД электрического генератора; η_{mech} — КПД механической части ВЭУ.

Скорость ветра в момент времени t носит случайный характер и определяется на основании

наблюдений и/или прогнозируется с определенной точностью [5]. При рассмотрении энергетических соотношений считаем, что можно пренебречь потерями в системах и что коэффициент мощности постоянный. Уравнение баланса мощностей для автономной системы электроснабжения с АГ с системой самовозбуждения при включении в цепь обмотки статора конденсаторов представим в виде

$$m_s \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi_{AG} = m_N \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos \varphi_N, \quad (1)$$

$$m_s \cdot \left[\frac{I_k^2}{\omega_s \cdot C} - I_N^2 \cdot \omega_s \cdot L \right] = Q_{AG}, \quad (2)$$

$$m_s \cdot \frac{I_k^2}{\omega_s \cdot C} = Q_{AG}, \quad (3)$$

$$m_s \cdot \frac{I_k^2}{\omega_s \cdot C} + m_s \cdot I_N^2 \cdot \left[\frac{1}{\omega_s \cdot C_k} - \omega_s \cdot L \right] = Q_{AG}, \quad (4)$$

$$\frac{m_s}{\omega_s} \cdot \left[\frac{I_k^2}{C} + \frac{I_k^2}{C_k} \right] = Q_{AG}, \quad (5)$$

где I_s , I_N , I_k — ток обмотки статора АГ, ток нагрузки и конденсаторов; ω_s — угловая частота напряжения генератора, 1/с; L — индуктивность нагрузки, Гн; C , C_k — емкость шунтирующих и компаундирующих конденсаторов, Ф; Φ , φ_s , φ — фазовые углы сдвига генератора и нагрузки; m_s — количество фаз обмотки статора генератора; $\cos \varphi_{AG}$ — коэффициент мощности генератора; $Q_{AG} = m_s \cdot U_s \cdot I_s \cdot \sin \varphi_{AG}$ — реактивная мощность генератора, квт.

Уравнение (1) — уравнение баланса активных мощностей. Оно справедливо для любой автономной системы с АГ с самовозбуждением. Следующие уравнения (2—5) выражают баланс реактивных мощностей при активно-индуктивной или активной нагрузке и при использовании в генераторной установке только шунтирующих или компаундирующих конденсаторов. Уравнение баланса реактивной мощности является правильным для автономной системы лишь в том случае, если для выравнивания частоты у потребителей автономной системы не применяется вставка «выпрямитель—инвертор». Если данная вставка есть, то балансы реактивной мощности составляем отдельно для АГ с цепью его возбуждения и для автономной электрической цепи с компенсаторами реактивной мощности для обеспечения высоких качеств электроэнергии. При совместной параллельной работе генераторов на активно-индуктивную

нагрузку их активные мощности складываются, а реактивная мощность системы равняется суммарной реактивной мощности шунтирующих и компаундирующих конденсаторов. Из выражения баланса реактивной мощности для активно-индуктивной нагрузки (2) можно найти значение угловой частоты напряжения (6):

$$\frac{m_s \cdot (I_k^2 - I_N^2 \cdot \omega_s^2 \cdot L \cdot C)}{\omega_s \cdot C} = Q_{AG},$$

$$\frac{\omega_s \cdot m_s \cdot (I_k^2 - I_N^2 \cdot \omega_s^2 \cdot L \cdot C)}{\omega_s \cdot C} = Q_{AG} \cdot \omega_s,$$

$$m_s \cdot I_k^2 - m_s \cdot I_N^2 \cdot \omega_s^2 \cdot L \cdot C = Q_{AG} \cdot \omega_s \cdot C,$$

$$-m_s \cdot I_N^2 \cdot \omega_s^2 \cdot L \cdot C - Q_{AG} \cdot \omega_s \cdot C + m_s \cdot I_k^2 = 0,$$

$$m_s \cdot I_N^2 \cdot \omega_s^2 \cdot L \cdot C + Q_{AG} \cdot \omega_s \cdot C - m_s \cdot I_k^2 = 0.$$

Обозначим $m_s \cdot I_N^2 \cdot L \cdot C = A$, $Q_{AG} \cdot C = B$, $-m_s \cdot I_k^2 = K$, тогда полученное выше уравнение можно записать следующим образом:

$$A \cdot \omega_s^2 + B \cdot \omega_s + K = 0.$$

Решим полученное уравнение:

$$D = b^2 - 4 \cdot a \cdot c = B^2 - 4 \cdot A \cdot K,$$

$$\omega_{s1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AK}}{2A},$$

$$\omega_{s1,2} =$$

$$= \frac{-Q_{AG} \cdot C + \sqrt{(Q_{AG} \cdot C)^2 + 4 \cdot m_s \cdot I_N^2 \cdot L \cdot C \cdot m_s \cdot I_k^2}}{2m_s \cdot I_N^2 \cdot L \cdot C} = \\ = \frac{-Q_{AG}}{2m_s \cdot I_N^2 \cdot L} + \sqrt{\frac{Q_{AG}^2}{4m_s^2 \cdot I_N^4 \cdot L^2} + \frac{4m_s^2 \cdot I_N^2 \cdot L \cdot C \cdot I_k^2}{4m_s^2 \cdot I_N^4 \cdot L^2 \cdot C^2}} = (6)$$

$$= \frac{-Q_{AG}}{2m_s \cdot I_N^2 \cdot L} + \sqrt{\frac{Q_{AG}^2}{4m_s^2 \cdot I_N^4 \cdot L^2} + \frac{I_k^2}{I_N^2 \cdot L \cdot C}}$$

$$= \frac{-Q_{AG}}{2m_s \cdot I_N^2 \cdot L} + \frac{1}{I_N} \cdot \sqrt{\frac{Q_{AG}^2}{4m_s^2 \cdot I_N^2 \cdot L^2} + \frac{I_k^2}{L \cdot C}},$$

где f_s — частота напряжения сети, Гц;

$$f_s = \frac{\omega_s}{2\pi}.$$

Из уравнения электромагнитного момента M_{elm} (7) для АГ найдем зависимость напряжения от активной мощности генератора:

$$M_{elm} = \frac{m_s \cdot p \cdot R'_r \cdot U_N^2}{2\pi \cdot f_s \cdot S \cdot \left[\left(R_s + \frac{R'_r}{S} \right) + (X_s + X'_r)^2 \right]}, \quad (7)$$

$$U_N = \sqrt{\frac{M_{elm} \cdot 2\pi \cdot f_s \cdot S \cdot \left[\left(R_s + \frac{R'_r}{S} \right) + (X_s + X'_r)^2 \right]}{m_s \cdot p \cdot R'_r}},$$

$$M_{elm} = \frac{P_{elm}}{2\pi \cdot f_s},$$

$$U_N = \sqrt{\frac{P_{elm} \cdot S \cdot \left[\left(R_s + \frac{R'_r}{S} \right) + (X_s + X'_r)^2 \right]}{m_s \cdot p \cdot R'_r}},$$

где p — число пар полюсов статора; S — скольжение ($S_N = 0,03 - 0,08$), о.е.; M_{elm} — электромагнитный момент на валу генератора, Н·м; R_s — активное сопротивление обмотки статора, Ом; R'_r — приведенное активное сопротивление обмотки ротора, Ом; X_s — реактивное сопротивление обмотки статора, Ом; X'_r — приведенное реактивное сопротивление обмотки ротора, Ом.

Как уже было указано выше, для работы асинхронной машины в генераторном режиме необходим источник реактивной мощности. Значение емкости, необходимой для возбуждения генератора при заданной частоте, равно:

$$C = \frac{1}{[(2\pi \cdot f_s)^2 \cdot (L_s + L_m)]},$$

где L_s и L_m — соответственно индуктивность обмотки статора и намагничивающего контура генератора, Гн.

В общем случае емкость, которая необходима для получения напряжения на генераторе при заданном значении нагрузки, определяется следующим образом, вар:

$$Q_C = m_s \cdot \frac{U_c^2}{X_C} = Q_{AG} + Q_N = P_{AG} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{AG} + P_N \cdot \operatorname{tg}\varphi_N.$$

Примем $P_{AG} = P_N$, тогда, Ом:

$$X_C = \frac{1}{\omega_c \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f_s \cdot C}.$$

И получаем окончательное значение емкости, необходимой для работы АГ с переменной частотой вращения приводного двигателя, Ф:

$$\tilde{N} = \frac{P_N \cdot (\operatorname{tg}\varphi_{AG} + \operatorname{tg}\varphi_N)}{2\pi \cdot f_s \cdot m_s \cdot U_c^2},$$

где P_N — мощность, которая отдается генератором потребителю, Вт; U_c — напряжение конденсаторов, В; f_s — частота производимого тока, Гц; φ_{AG} и φ — углы сдвига фаз между напряжением

и током генератора и нагрузки; $U_{AG} = U_c$ — напряжение на генераторе и нагрузке, В.

Исследования показали, что автономные АГ целесообразно использовать при значениях $n_{AG}/n_N \geq 0,9$. При меньших n_{AG} необходимая емкость быстро растет, и генератор почти полностью загружается реактивным током.

В наше время значительный интерес вызывает возможность использования в энергетике электрогенераторов с постоянными магнитами [5, 6]. Развитие технологий разрешает постоянным магнитам конкурировать с обычной электромагнитной системой возбуждения генераторов, а надежность и отсутствие потерь позволяют говорить об их преимуществе. Поэтому в диапазоне мощностей от 1 кВт до 50 кВт все большее распространение получают синхронные генераторы с постоянными магнитами (СГПМ), которые имеют высокую степень автономности, надежности, они просты в исполнении и имеют достаточно высокий КПД. Пока они дороги в изготовлении, но преимущества в эксплуатации отвечают современной тенденции развития техники.

Рассмотрим энергетические характеристики СГПМ. Уравнения баланса мощностей для автономной системы электроснабжения с СГПМ представлены ниже:

$$m_s \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi_{AG} = m_s \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos \varphi_N. \quad (8)$$

$$m_s \cdot I_s \cdot \omega_s \cdot L = Q_{AG}. \quad (9)$$

Уравнение (8) — уравнение баланса активных мощностей. Оно справедливо для любой автономной системы с синхронным генератором (СГ). Уравнение (9) показывает баланс реактивной мощности в автономной системе с активно-индуктивной нагрузкой. Из формулы баланса активных мощностей вытекает зависимость напряжения от их изменений, В:

$$U_N = \frac{P_N}{m_s \cdot I_N \cdot \cos \varphi}.$$

Из формулы баланса реактивной мощности для активно-индуктивной нагрузки можно найти зависимость угловой частоты напряжения:

$$m_s \cdot I_N^2 \cdot \omega_s \cdot L = Q_{AG},$$

$$\omega_s = \frac{Q_{AG}}{m_s \cdot I_N^2 \cdot L}.$$

Нами были проанализированы статистические данные Украинского гидрометцентра для

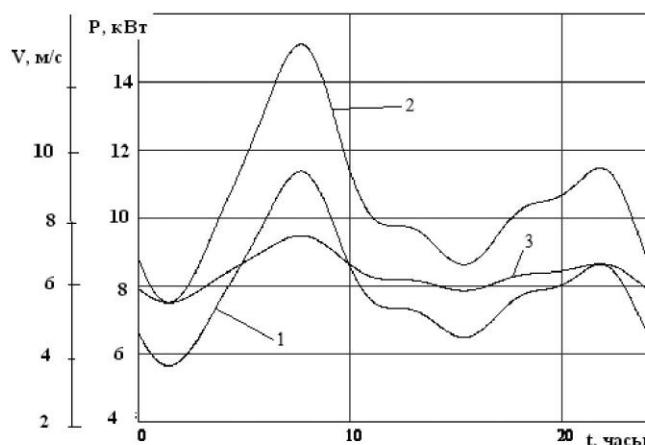


Рис. 1. Выработка активной мощности генератора на протяжении суток

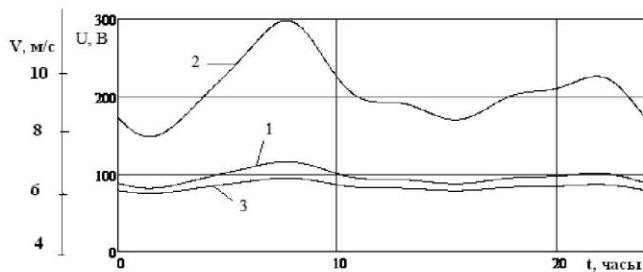


Рис. 2. Изменение напряжения генератора на протяжении суток

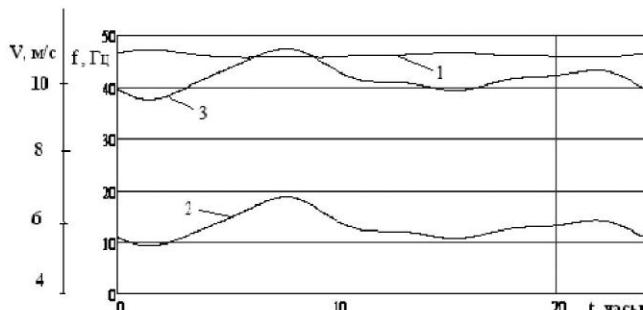


Рис. 3. Изменение частоты напряжения генератора на протяжении суток

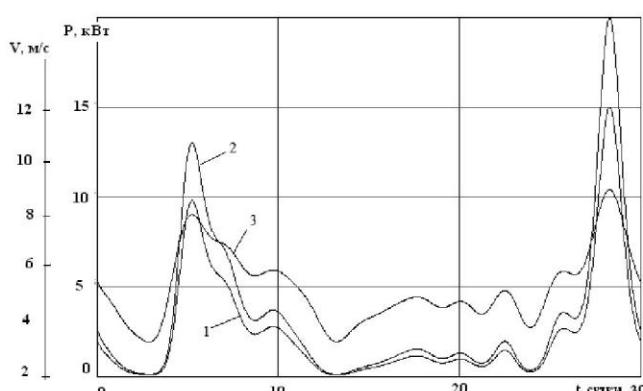


Рис. 4. Выработка активной мощности генератора на протяжении месяца

района г. Николаева. На основании данных о скорости ветра были сделаны расчеты основных энергетических параметров автономной сети. Данная математическая модель была реализована в среде математической программы *MathCad*. После проведенных расчетов зависимости энергетических параметров АГ с к.з. ротором и СГПМ по методикам, которые были описаны выше, были получены графики зависимостей для одних суток, месяца и года (рис. 1–9).

На всех графиках изменения скорости ветра обозначены цифрой 3. На рис. 1–12 цифрой 1 обозначено АГ с к.з. ротором; цифрой 2 — синхронные генераторы с возбуждением от постоянных магнитов [6].

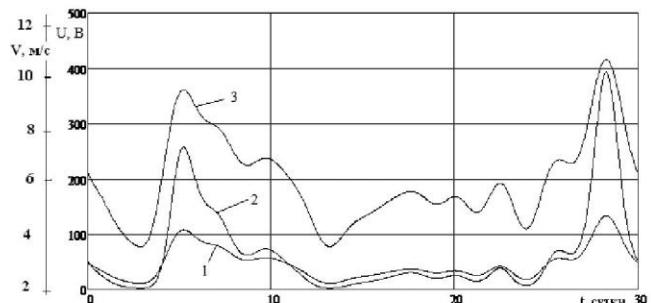


Рис. 5. Изменение напряжения генератора на протяжении месяца

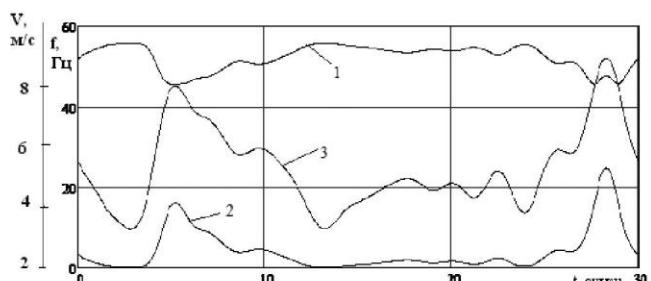


Рис. 6. Изменение частоты напряжения генератора на протяжении месяца

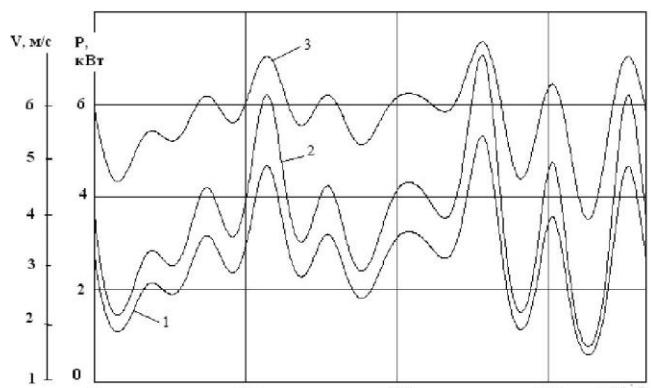


Рис. 7. Выработка активной мощности генератора на протяжении года

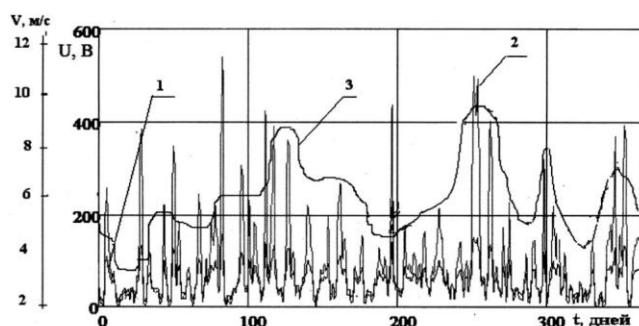


Рис. 8. Изменение напряжения генератора на протяжении года

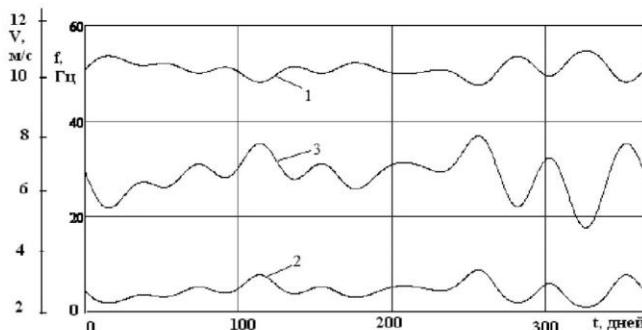


Рис. 9. Изменение частоты напряжения генератора на протяжении года

Выводы

1. При выборе типа генератора, устанавливаемого в ВЭУ, необходимо учитывать особенности его эксплуатации, мощность, вести оценку и учитывать экономические показатели и технические возможности производства, на котором предполагается выпускать ВЭУ или отдельно генератор.

2. Сравнение энергетических характеристик генераторов (активная мощность, напряжение и частота) показывает, что для ВЭУ малой мощности (5–10 кВт) целесообразно использовать не АГ с к.з. ротором, а СГПМ.

3. При малых скоростях ветра более эффективна работа ВЭУ с СГПМ, чем ВЭУ с АГ с к.з. ротором.

4. Поскольку при скоростях ветра 9 м/с и более генераторы превышают свою номинальную нагрузку (допустимая перегрузка $1,5P_n$), необходима установка тормоза, который не позволяет разгоняться валу ротора сверх допустимой частоты вращения.

5. При резких изменениях скорости ветра СГПМ имеет худшие энергетические параметры, чем АГ с к.з. ротором. Но если учесть тот факт, что для потребителя необходимо предоставлять электроэнергию заданных качеств, то это потребует установки вставки постоянного тока. Необходимость вставки «выпрямитель—инвертор» уравнивает параметры СГПМ и АГ. Также следует помнить, что АГ с к.з. ротором имеет меньшую надежность, чем СГПМ, из-за обязательной комплектации конденсаторными батареями.

6. В связи с тем, что для работы АГ с к.з. ротором необходима реактивная мощность от дополнительных устройств или из электросети, снижается КПД самого генератора. Вследствие этого ухудшается эффективность использования ветрового потока и уменьшается величина вырабатываемой мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оновлена Енергетична стратегія України на період до 2030 р. / Асоціація «Український ядерний форум» // Адрес доступа: <http://www.atomforum.org.ua/rus/news4169>.
2. Шевченко В.В. Экология и атомная энергетика Украины // Мир техники и технологий. 2012. № 7 (128). С. 30–33.
3. Алиев И.И. Асинхронный генератор с гарантированным самовозбуждением // Электричество. 1997. № 7. С. 54–57.
4. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф. Электрические генераторы с постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат, 1988. 290 с.
5. Шевченко В.В., Шевченко С.Е. Определение параметров выбора типа электрогенератора для ветроэнергетических установок Украины // Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. Київ. 2004. Вип. 25. С. 286–292.
6. Шевченко В.В., Заныхайло Е.А. Порівняльний аналіз енергетичних параметрів генераторів, які використовуються у вітроенергетичних установках // Вестник НТУ «ХПІ». 2010. № 46. С. 234–241.