

Мильчуков Иван Андреевич

**РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ
АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ВЕТРОГЕНЕРАТОРА**

Работа посвящена вопросам расчета и выбора электрооборудования для автономной системы энергоснабжения жилого коттеджа на основе ветроэлектрической установки малой мощности. Расчет проведен на основе данных по электроприемникам коттеджа. Учтены имеющиеся условия по скорости ветра в месте размещения установки. Выбрано защитное и преобразовательное

электрооборудование. Предусмотрена возможность для накопления электроэнергии и источник дополнительной мощности.

Ветроэлектрическая установка, система энергоснабжения, выпрямитель напряжения, инвертор напряжения, аккумуляторная батарея, дизельный генератор.

Milchukov Ivan Andreevich

CALCULATION AND SELECTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT FOR AN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM BASED ON A WIND GENERATOR

The work is devoted to the calculation and selection of electrical equipment for an autonomous power supply system for a residential cottage based on a low-power wind turbine. The calculation was carried out on the basis of data on the cottage's electrical receivers. The existing wind speed conditions at the installation location are taken into account. Protective and converter electrical equipment has been selected. There is an opportunity for the accumulation of electricity and a source of additional power.

Wind turbine, power supply system, voltage rectifier, voltage inverter, battery, diesel generator.

Введение

Развитие современных технологий в электроэнергетике позволяет осваивать, делать доступными и эффективными новые источники электроэнергии. Например, известно, что доля ветряной генерации в странах Евросоюза общемировая тенденция провоцирует повышенный спрос не только на значительно выросла за последние годы и составила 18% от общего объема производимой электроэнергии. Активно ветроэнергетика развивается в Китае и Индии, есть некоторые успехи в этой области и в нашей стране. Такая мощные ветроэлектрические установки, но и на ветрогенераторы малой мощности, которые можно использовать для электроснабжения как городских домов, так и удаленных коттеджей сельской местности [1], [2].

Основная часть

Принцип работы системы энергоснабжения на основе ветроэлектрической установки состоит в следующем. Вал генератора установки вращается за счет воздействия ветра на лопасти ветроколеса. При этом в обмотках

генератора индуцируется электрический ток варьируемой переменной частоты и амплитуды. Перед подачей потребителям напряжение и ток от ветрогенератора требуется сначала преобразовать в постоянный, запитать им блоки аккумуляторов (АБ) и передать далее в инвертор для преобразования опять в переменный, но уже управляемой требуемой частоты и амплитуды [3].

В дополнение к ветроэлектрической установке (ВЭУ) оправданным является использование дизельной энергии: обеспечивается дополнительная мощность; энергия ветра непостоянна; технология изготовления дизельных установок хорошо освоена, что обуславливает их более низкую стоимость. Дизельная электростанция (ДЭС) предназначена для энергоснабжения объекта во время отсутствия питания от ветроэлектрической установки.

Таким образом, структурная схема энергоснабжения объекта выглядит следующим образом (рис. 1) [4].

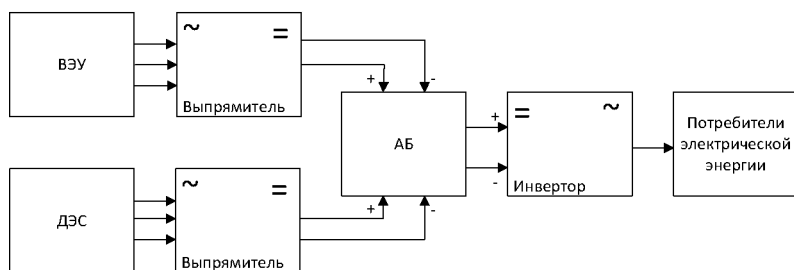


Рис. 1. Структурная схема энергоснабжения объекта

Основными электроприемниками в доме являются: мультимедиа центр, компьютер, посудомоечная и стиральная машины, кухонный комбайн, микроволновая печь, утюг, электроплита, электрочайник, пылесос, фен и освещение. По методике, приведенной в [3], [5] рассчитываем пиковую мощность, потребляемую коттеджем, которая получается равной 8120 Вт. Это означает, что необходимо выбирать инвертор с мощностью $P_{инв} > 8120$ Вт. Принимаем мощность инвертора для данной энергосистемы равную $P_{инв}=12000$ Вт. Просуммировав установленную мощность электроприборов и умножив ее на время использования, получим, что коттеджу за сутки необходимо 8460 Вт·час электроэнергии.

Выберем электрооборудование для разрабатываемой энергосистемы коттеджа с ветроэлектрической установкой.

Мгновенная мощность ветроустановки зависит от скорости ветра на местности. Для выбранной местности она равна 5 м/с [1]. Найдем усредненное за час потребление энергии в системе коттеджа из исходных данных [5], [6]. Эта величина определяется путем деления определенного ранее энергопотребления коттеджа за сутки $E_{\text{кот.сут}}$ на количество часов в сутках.

$$E_{\text{кот.час}} = \frac{E_{\text{кот.сут}}}{24} = \frac{8460}{24} = 352,5 \text{ Вт} \cdot \text{час}$$

Найдем мощность ветроустановки для проектируемой системы электроснабжения. Для этого разделим величину энергопотребления коттеджа $E_{\text{кот.час}}$ на один час.

$$P_{\text{спец}} = \frac{E_{\text{кот.час}}}{1} = \frac{352,5}{1} = 352,5 \text{ Вт}$$

При этом получится мгновенная мощность, которую ветроустановка отдает в нагрузку в условиях средней скорости ветрового потока.

Мощность ветроустановки $P_{\text{мгнВЭУ}}$ необходимо выбирать по средней скорости ветрового потока таким образом, чтобы выполнялось соотношение

$$P_{\text{мгнВЭУ}} \geq P_{\text{спец}}, \text{ Вт.}$$

Если средняя скорость ветра в данном регионе недостаточна для запуска и получения требуемой мощности от определенного типа ветрогенератора, можно вместо одного мощного ветрогенератора установить два меньшей мощности. При этом потребуются меньшая скорость ветра для обеспечения условий запуска ветроустановки. Определенная для данного региона средняя скорость ветра равна 5 м/с [1], что недостаточно, согласно таблице 1, для обеспечения питания нагрузки. Применим две ветроустановки ВЭУ-3. Проверяем выполнение неравенства для $P_{\text{мгнВЭУ}}$ и $P_{\text{спец}}$:

$$P_{\text{мгнВЭУ}} \geq P_{\text{спец}} \text{ или } 2 \cdot 400 \geq 352,5$$

Зависимость отдаваемой мощности турбины ВЭУ-3 от скорости ветра приведена табл. 1.

Таблица 1

Мощность и выработка энергии ВЭУ-3

| Скорость ветра v, м/сек | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Мгновенная мощность $P_{\text{мгнВЭУ}}$, Вт | 60 | 200 | 400 | 700 | 1100 | 1700 | 2500 | 2900 | 3300 | 3400 |
| Суточная выработка $E_{\text{сутВЭУ}}$, кВт·час | 1,4 | 4,8 | 9,6 | 16,8 | 26,4 | 40,8 | 60,0 | 69,6 | 79,2 | 81,6 |

За сутки ветроустановка ВЭУ-3 генерирует

$$E_{\text{сутВЭУ}} = 9,6 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Для двух выбранных ветроустановок объем полученной электроэнергии составит:

$$E_{\text{сут}2\text{ВЭУ}} = 9,6 \cdot 2 = 19,2 \text{ кВт} \cdot \text{час} = 19200 \text{ Вт} \cdot \text{час}$$

Получается, что две выбранные ветроустановки ВЭУ-3 способны перекрыть суточные потребности коттеджа в электроэнергии

$$E_{\text{сут}2\text{ВЭУ}} \geq E_{\text{сут}} \text{ или } 19200 \text{ Вт} \cdot \text{час} \geq 8460 \text{ Вт} \cdot \text{час}$$

Таким образом, выбор двух ветроустановок ВЭУ-3 в процессе проектирования как источников в системе электроснабжения коттеджа является оправданным. Внешний вид мачты и ветроколеса ВЭУ-3 приведен на рисунке 2. Согласно паспортным данным, номинальная мощность каждой установки равна 3 кВт. ВЭУ-3 включает следующие компоненты: мачта 12 м, ступица, лопасти (3 шт.), крепежи.



Рис. 2. Ветроэлектрическая установка ВЭУ-3

В качестве выпрямителя выбирается тиристорный выпрямитель напряжения трехфазный ТВН-3.

При проектировании инверторов для системы электроснабжения необходимо принимать во внимание их стоимость в зависимости от типа. Квазисинусоидальный инвертор, как правило, дешевле синусоидального в 2 и более раз, поэтому рационально применить инверторы обоих типов. Однако это потребует предусмотреть в проекте две отдельные линии от разных типов инверторов для питания соответствующих типов нагрузок и обеспечения небольшого запаса по мощности [6]. Образует две группы из электроприборов, составляющих нагрузку. С учетом мощности электроприборов во

время вечернего пика потребления, которые требуют питания от синусоидального инвертора, выбираем инвертор МАП Pro мощностью 4,5 кВт и квазисинусоидальный инвертор МАП Pro мощностью 7 кВт.

Используя данные, полученные при расчете энергии, потребляемой коттеджем, выберем тип и количество аккумуляторных батарей. В данном случае подходят аккумуляторные батареи Delta GX 12 гелевые (16 штук), емкостью 80 А·ч, обеспечивающие суммарную ёмкость АБ 320 А·ч [7].

В качестве дополнительного источника питания выбирается дизельный генератор АД 12-Т400 мощностью 12 кВт. Выбранный дизель генератор обладает мощностью в 12 кВт и представляет собой рядный двухцилиндровый дизельный двигатель объемом 1,81 литра с водовоздушным охлаждением. Кроме этого, в конструкции имеется система охлаждения со стандартным радиатором и панель управления с использованием контроллера HGM6120.

Вопросы моделирования и проектирования электрических схем, исследования электроэнергетических характеристик систем подробнее рассмотрены в работах [7] – [11]. Схема и математическая модель выбранной ветроэнергетической установки приведены в [12].

Выводы

В работе осуществлен расчет и выбор электрооборудования для автономной системы энергоснабжения жилого коттеджа на основе двух ветроэлектрических установок мощностью 3 кВт каждая. Расчет проведен на основе данных по электроприемникам коттеджа. Учтены имеющиеся условия по скорости ветра в месте размещения установки. Выбрано защитное и преобразовательное электрооборудование. Предусмотрена возможность для накопления электроэнергии и источник дополнительной мощности в виде дизель-генератора. Данную систему на основе ветрогенераторов можно использовать как для электроснабжения в городских условиях, так и в удаленной местности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Николаев Ю.Е., Игнатов В.Ю.* Области эффективного применения автономных энергокомплексов на базе ГТУ и ВЭУ в Российской Федерации / Ю. Е. Николаев, // Энергетик. – 2023. – № 2. – С. 32-34. – EDN JGBXAS.
2. *Гиляхов А.А., Волощенко Ю.П.* Ветроэнергетические установки и последние разработки в этой области // Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2016): сборник трудов XIV

- Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Таганрог: Издательство ЮФУ, 2016. – С. 16-18. – EDN XRISXZ.
3. *Елистратов В.В., Кузнецов М.В., Лыков С.Е.* Ветроэнергостановки. Автономные ветроустановки и комплексы: учебное пособие. – Санкт-Петербург: ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет", 2008. – 100 с. – EDN RXWBVZ.
 4. *Канов Л.Н.* Схемное моделирование ветроэлектрических установок в системе распределенного электроснабжения // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: Международный сборник научных трудов. Том Выпуск 14. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2017. – С. 117-125. – EDN YWLKUE.
 5. *Гисцов В.Г., Волощенко Ю.П.* Расчёт и выбор электрооборудования ветроэнергетической установки малой мощности для электроснабжения жилого загородного дома // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. – Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2021. с. 49-56. – EDN: TOAVVU.
 6. *Батагов К.А., Гисцов В.Г., Волощенко Ю.П.* Исследование характеристик модели автономной электрической системы с маломощной: сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2020. -выпветроэнергетической установкой // Всероссийская научная конференция «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем» («Системотехника-2020»). Проблемы современной системотехники. XIV. С.63-69. – EDN: KYGEAE
 7. *Воротынцев В.С., Волощенко Ю.П.* Системы накопления электроэнергии и выбор накопителя для жилого дома // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2022. – С. 106-113. – EDN KDDTBQ.
 8. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Основы теории одномерной нелинейной электрической и электронной волновой цепи: учебное пособие. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2015. – 100 с. – EDN: VGYNH
 9. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование нелинейных электрических процессов в элементах электронной волновой цепи: учебное

- пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2018. – 116 с. – EDN: YTPREQII.
10. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование электронных компонентов интегральных схем методами теории электрических цепей. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2017. – 111 с. – EDN: YHOZPL.
 11. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование и исследование источника электрической энергии на фотоэлектронных модулях с преобразователем и нагрузкой // Современные информационные технологии: тенденции и перспективы развития: Материалы XXX научной конференции, – Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2023. – С. 74-77. – EDN WGUBPS.
 12. *Пронин Н.В., Мартынянов А.С.* Модель ветрогенератора ВЭУ-3 в пакете MATLAB // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2012. – № 37(296). – С. 143-145. – EDN PIMBEJ.

Мильчуков Иван Андреевич, студент гр. РТбз5-39, кафедра электротехники и мехатроники, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694; e-mail: milchukov@sfedu.ru

Milchukov Ivan Andreevich, student gr. RTbz5-39, Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: milchukov@sfedu.ru