

УДК 621.311.24

С.А. СЕВАЛЬНЕВ, студент гр. ЭРб-181 (КузГТУ)  
Научный руководитель А.В. БЕЗБОРОДОВ, ассистент кафедры ЭГПП  
(КузГТУ)  
г. Кемерово

## РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТЕНДА «ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА»

### Цель работы:

Разработка и проектирование исследовательского стенда «Ветро-энергетика», который позволит проводить:

- анализ влияния формы лопастей на выработку электроэнергии;
- изучение влияния подключаемой нагрузки на основные агрегаты ветрогенератора;
- изучение влияния выработки энергии от типа ветрогенератора при одинаковых условиях;
- выявление зависимостей основных характеристик электроустановки ветрогенератора (ток, напряжение, температура и т.д.)

### Общие сведения:

Ветрогенератор – устройство, предназначенное для преобразования кинетической энергии воздушного потока ветра в энергию механическую с последующим преобразованием в электрическую энергию (на рис. 1 приведена общая схема ветрогенератора).

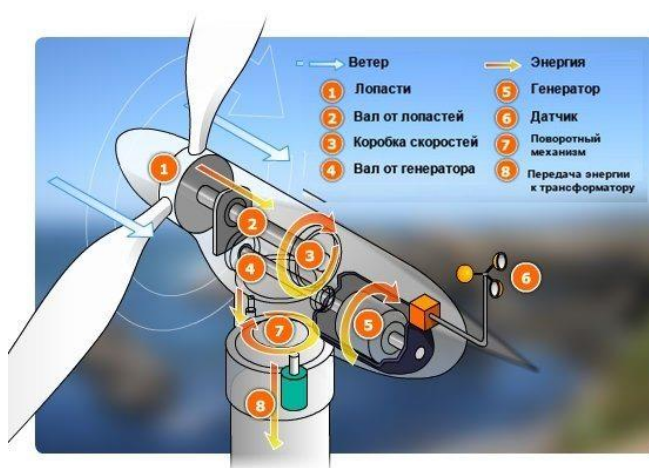


Рис. 1. Общая схема ветрогенератора

### Принцип действия:

Под действием ветра вращается ветроколесо с лопастями, передавая крутящий момент через систему передач валу генератора, вырабатывающего электроэнергию.

К основным компонентам системы относятся следующие элементы:

1. Мачта – опора, на которой установлена основная механическая и электрическая часть ветряного генератора.
2. Лопасти – приводят в движение вал генератора.
3. Генератор – для выработки переменного тока.

К дополнительным компонентам относятся:

1. Контроллер, преобразовывающий переменный ток в постоянный и контролирующий процесс заряда аккумуляторных батарей.
2. Аккумуляторные батареи – служат «демпфером» в безветренные часы, накопленная электроэнергия позволяет осуществлять бесперебойное электроснабжение потребителей.
3. Анемоскоп и датчик направления ветра – осуществляют мониторинг данных о скорости ветра и его направлении, применяется в установках средней и большой мощности.
4. Устройство АВР – устройство, производящее автоматическое переключение источника питания (генератор или аккумуляторная батарея).
5. Инвертор – устройство, преобразовывающее постоянный ток в переменный.

Компоненты ветрогенератора (с аккумуляторами) и коммутацией с сетью изображены на рис. 2.

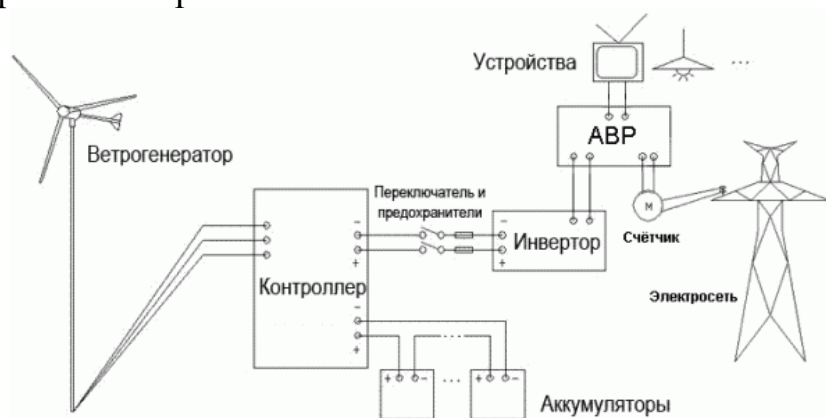


Рис. 2. Ветрогенератор (с аккумуляторами) и коммутация с сетью

### Классификация ветроустановок по принципу работы:

- По оси вращения - с горизонтальной или вертикальной.
- По схеме устройства ветроколеса и его положению в потоке ветра разделяются на три класса:

1. 1 класс включает ветродвигатели, у которых ветровое колесо располагается в вертикальной плоскости;
2. Ко 2-му классу относятся системы ветродвигателей с вертикальной осью вращения ветрового колеса. По конструктивной схеме они разбиваются на группы:
  - карусельные;
  - роторные ветродвигатели системы Савониуса.
3. К 3-му классу относятся ветродвигатели, работающие по принципу водяного мельничного колеса и называются барабанными. У этих ветродвигателей ось вращения горизонтальна и перпендикулярна направлению ветра.

Наиболее распространенные типы вертикально-осевых установок:

1. Чашечный ротор. Ветроколесо данного типа вращается силой сопротивления. Форма чашеобразной лопасти обеспечивает линейную зависимость частоты вращения колеса от скорости ветра.
2. Ротор Савониуса. Вращающий момент создается благодаря различному сопротивлению, оказываемому воздушному потоку вогнутой и выгнутой относительно него лопастями ротора.
3. Ротор Дарье. Вращающий момент создается подъемной силой, возникающей на двух или на трех тонких изогнутых несущих поверхностях, имеющих аэродинамический профиль.
4. Ротор Масгрива. Лопастей этого ветроколеса в рабочем состоянии расположены вертикально, но имеют возможность вращаться или складываться вокруг горизонтальной оси при отключении.
5. Ротор Эванса. Лопастей этого ротора в аварийной ситуации и при управлении поворачиваются вокруг вертикальной оси.

#### **Ветроэнергетика в мире и России:**

Согласно отчету по мировой ветроэнергетике, в 2019 году в мире было введено суммарно **60,4 ГВт** ветроэнергетических мощностей, что на 19% больше, чем в 2018 году. Общая мощность всех ветроэнергетических установок в мире в настоящее время превышает **651 ГВт**. Лидерами по производству электроэнергии с помощью ветра являются — Китай, США, Германию, Индию и Испанию — в совокупности приходится 73% общей мощности глобальной ветроэнергетики. Ожидается, что 2020 год станет рекордным для ветроэнергетики, и планируется до конца года ввести **76 ГВт** новых мощностей.

Россия обладает огромным потенциалом ветряной энергии, но пока не использует данное преимущество и её доля в мировой и национальной ветроэнергетике близка к нулю. В нашей стране на сегодня общая мощность генерации ветряными электростанциями составляет 183,91 МВт.

Данная мощность образовалась благодаря реализации инвестиционных проектов по строительству генерирующих объектов, проведённых в 2016 - 2019 годах. В перспективе с 2020 по 2024 год в России планируется запустить в эксплуатацию 2476,81 МВт мощности, генерируемой ветряными электростанциями. Для понимания, в Китае да сегодняшний день сумма мощностей всех ветроэлектростанций равна 128 ГВт. Главной проблемой развития ветроэнергетики в России является огромные капитальные затраты на реализацию проектов и имеющаяся в достаточном количестве традиционная генерация электроэнергии. Планируется, что до 2035 года в российскую ветроэнергетику будет инвестировано более 220 млрд рублей. Таким образом, в энергосистеме России доля ветрогенерации должна вырасти с 0,07% до 1%.

**Проектирование и разработка исследовательского стенда:**

Перспективы развития ветроэнергетики во всём мире и, в частности России достаточно велики. Соответственно имеется необходимость постоянного исследования основных процессов ветроэнергетики. В связи с этим, принято решение о создании на нашей кафедре собственного лабораторного стенда, которые и позволит не только проводить исследования работы ветряной электростанции, но и позволит привлечь внимание школьников, абитуриентов, студентов к данному направлению энергетики. Исследовательский стенд позволит изучить: влияние формы лопастей на выработку электроэнергии, влияние подключаемой нагрузки на энергосистему ветроустановки, влияние выработки энергии от типа ветрогенератора при одинаковых условиях, значения основных физических и электрических параметров системы.

Также, предварительно, был проведен анализ рынка готовых стендов.

**Рассмотренные на рынке готовые стенды:**

1. Типовой комплект учебного оборудования "Ветроэнергетическая система на базе синхронного генератора", исполнение настольное с ноутбуком, ВЭС-СГ-НН - Цена на данный стенд составляет 304 590 рублей.
2. Лабораторный стенд «Вертикально-осевые ветроэнергетические установки», исполнение моноблочное ручное, ВЭУ-ВО-МР - Цена на данный стенд составляет 244 120 рублей.
3. Типовой комплект учебного оборудования "Ветроэнергетическая система", исполнение моноблочное ручное, ВЭС-МР - Цена на данный стенд составляет 150 760 рублей.
4. Модель вертикально-осевой ветроэнергетической установки представляет собой уменьшенную копию реального ветроэнергетического комплекса - Цена на данный стенд составляет 194 120 рублей.

---

Исходя из проведенного анализа рынка очевидно, что конечная стоимость продукта велика, а устройство представленных лабораторных стендов очевидно. Ожидаемыми результатами работы является получение готового к работе исследовательского стенда для кафедры по себестоимости компонентов, использование стенда при изучении дисциплины «Возобновляемые источники электроэнергии» для проведения лабораторных занятий, популяризация данного вопроса на открытых мероприятиях благодаря наглядности работы станции.

Список литературы:

1. Чебанов, К.А. Новое рождение ветроэнергетики [Электронный ресурс] / К.А. Чебанов, О.Ю. Карамян, Ж.А. Соловьева. — Электрон. журн. — Москва: Neftegaz.RU, 2019. — Режим доступа: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/vozobnovlyaemye-istochniki-energii/387004-novoe-rozhdenie-vetroenergetiki/>, свободный
2. Кулаков, А.В. Ветроэнергетика в России: проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] / А.В. Кулаков. — Электрон. журн. — Москва: ЭнергоСовет.ру, 2011. — Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/>, свободный
3. Мамедов, О.М. Тенденции современного развития возобновляемой энергетики [Электронный ресурс] / О.М. Мамедов. — Электрон. журн. — Москва: ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, 2018. — Режим доступа: <https://www.abok.ru/>, свободный
4. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. — М.: Энергоатомиздат, 2008. — 230 с.

Информация об авторах:

Севальнев Станислав Андреевич, студент гр. ЭР6-181, КузГТУ,  
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [sevalnevsa@list.ru](mailto:sevalnevsa@list.ru)

Безбородов Алексей Валерьевич, ассистент кафедры ЭГПП, КузГТУ,  
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [bezborodov\\_av@mail.ru](mailto:bezborodov_av@mail.ru)