

**УДК 662.621.311.21**

Андреев Виктор Александрович, ст.гр. ЭПм-171 Института энергетики  
(КузГТУ, г. Кемерово)

Безбородов Алексей Валерьевич, ст.гр. ЭПм-171 Института энергетики  
(КузГТУ, г. Кемерово)

Andreev Victor, student  
(KuzSTU, Kemerovo)

Bezborodov Alex, student  
(KuzSTU, Kemerovo)

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРИИ «ВИРТУАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ»**

### **DESIGNING THE LABORATORY "VIRTUAL POWER PLANT"**

В работе описываются этапы проектирования лаборатории, пред назначенной для исследования работы электростанций на базе ВИЭ. Данная лаборатория позволит не только дополнить учебный процесс практическими работами, но и предоставит возможность провести необходимые исследования концепции «виртуальная электростанция» объединив оборудования лаборатории в единую систему.

The paper describes the stages of designing a laboratory designed to study the operation of power plants based on RES. This laboratory will not only supplement the educational process with practical works, but will also provide an opportunity to conduct the necessary studies of the "virtual power station" concept by combining the laboratory equipment into a single system.

Возобновляемые источники энергии на сегодняшний день являются актуальным направлением развития энергетики всего мира в целом и России в частности. Экономическая привлекательность ВИЭ растет с каждым годом – за последние 7 лет показатель LCOE (полезная приведенная стоимость электроэнергии) для ветряной энергетики снизился на 66%, для солнечной на 85%. Объекты малой энергетики становятся частью энергетической инфраструктуры многих стран, их развитие оказывает существенное влияние на экономику. Неоспоримым фактом является то, что в нашей стране, огромное число потребителей расположены вне сетей централизованного электроснабжения, а это 67% территории России с населением в 20 млн человек, и рациональное использование альтернативных источников электроэнергии позволит не только обеспечить электроснабжение данных потребителей, но и улучшить экологическую ситуацию в регионах, где основным

источником электроэнергии являются дизельные генераторы и другие электростанции, работающие на базе традиционных источников энергии [1,2].

На кафедре электроснабжения горных и промышленных предприятий КузГТУ создан научный коллектив для изучения проблем эффективного использования ВИЭ. В рамках данного вопроса было предложено реализовать на базе одной из аудиторий КузГТУ лабораторию «Виртуальная электростанция» для соответствующих исследований. В состав лаборатории будут входить мини-стенды, способные моделировать различные режимы работы электростанций. В качестве основных были выбраны: солнечная электростанция и гидроэлектростанция.

### Цель работы

Промежуточным итогом нашей работы будут являться разработанные и готовые к работе по назначению мини-стенды, с помощью которых в ходе изучения дисциплины «Возобновляемые источники энергии» будет повышенено качество усвоения теоретического материала. Визуализация происходящих процессов на электростанциях в ходе подачи материала студентам – одно из сотни решений проблем применения ВИЭ.

Конечным же итогом проделанной работы будет изучение работы концепции виртуальной электростанции на базе данной лаборатории, в ходе которого появится возможность ответить на острые вопросы данного направления.

### Мини-стенд для исследования работы СЭС

Создание мини-стенда для исследования работы солнечной электростанции началось с постановки его возможностей на конечном этапе, а именно:

- получение модели СЭС для учебного процесса;
- визуализация процессов преобразования световой энергии в электрическую;
- возможность дальнейшей модернизации.

При детальном осмотре и изучении представленных на рынке необходимых стендов был сформирован тип и габариты каркаса, а также расположение основных компонентов стенда. На рисунке 1 представлена схема и размеры каркаса. Также была разработана схема подключения электрической части стенда, которая представлена на рисунке 2.

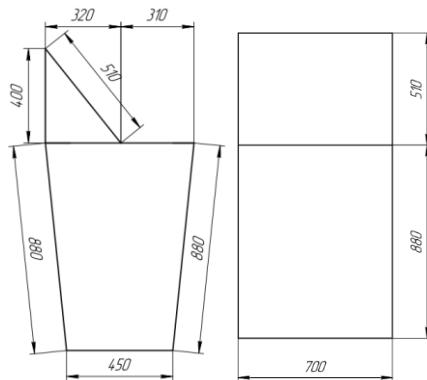


Рис.1 Форма и габариты каркаса стенда

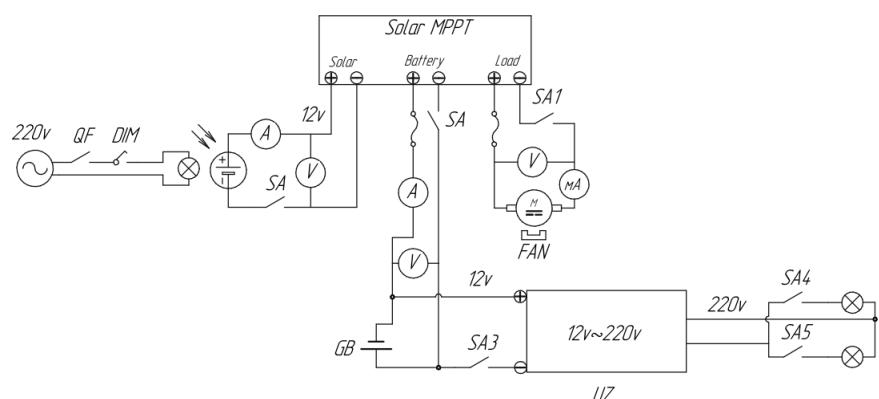


Рис.2 Схема соединения компонентов стенда

Далее был произведен выбор основного оборудования стенда: солнечная панель, прожектор, контроллер заряда, аккумуляторная батарея, инвертор, нагрузки.

Аккумуляторная батарея. Выбор осуществлялся исходя из следующих требований: устойчивость к повышенному количеству циклов заряда-разряда, небольшая емкость, в целях снижения времени ожидания заряда-разряда батареи. Удовлетворил всем критериям аккумулятор гелевый, предназначенный для мототехники. Типичная модель технологии GEL способна выдержать до 350 циклов разряда с глубиной 100%, до 550 с глубиной 50% и до 1200 с глубиной 30%. Также гелевый аккумулятор менее подвержен ущербу, находясь в разряженном состоянии несколько дней подряд. Емкость выбранного аккумулятора 5 А·ч взята из расчета зарядного тока (10% от емкости аккумулятора).

Солнечная панель. При выборе данного элемента были обозначены минимальные требования: возможность осуществления заряда аккумулятора (отдаваемый ток в номинальном режиме 0,5 А), максимально допустимые габариты (исходя из размеров каркаса). Выбор осуществлен в пользу поликристаллической солнечной панели, так как при одинаковых размерах

эффективность поликристаллической на порядок меньше поликристаллической. Технические характеристики выбранной солнечной панели: габариты  $525 \times 445 \times 25$  мм, максимальная мощность 30 Вт, рабочий температурный диапазон от -40 до 85 °С.

**Прожектор.** Был выбран практическим путем: при освещении солнечной панели галогенным прожектором мощностью 500 Вт, работающим от внешней сети 220 В было получено оптимальное значения зарядного тока.

**Контроллер заряда.** Так как большинство производимых контроллеров рассчитаны на мощности от 1 кВт, выбор данного компонента производился исходя из номинальной мощности контроллера. Наиболее подходящим оказался контроллер заряда китайского производителя, рассчитанный на небольшую «домашнюю» солнечную электростанцию с дисплеем, на котором отображается вся необходимая информацию о происходящих процессах (заряд аккумулятора, уровень напряжения на выводах солнечной батареи, зарядный ток). На рисунке 3 представлен выбранный контроллер заряда.



Рис.3 Выбранный контроллер заряда

**Нагрузки.** В качестве нагрузки переменного тока 220 В была выбрана наиболее популярный тип нагрузки-лампы освещения разного типа: лампа накаливания, люминесцентная лампа, светодиодная лампа. Нагрузкой цепи постоянного тока 12 В будет служить двигательная нагрузка, а именно небольшой вентилятор.

**Инвертор.** Исходя из условий, что выбранные элементы нагрузки цепи 220 В допускается подключать к инвертору с модифицированной синусоидой, преимуществом которого является низкая цена, был выбран инвертор номинальной мощностью 200 Вт, предназначенный для установки в автомобиль, при промежуточных испытаниях полностью удовлетворил нашим требованиям. Изображение выбранного инвертора представлено на рисунке 3.



Рис.4 Выбранный инвертор с модифицированной синусоидой

Все выбранные элементы стенда, согласно разработанной схеме, были смонтированы на каркас. После проведения всех пуско-наладочных работ и испытаний было сделано заключение о работоспособности стенда, после чего он был допущен к эксплуатации в одной из аудиторий КузГТУ. Получившийся мини-стенд представлен на рисунке 5 [3].



Рис.5 Мини-стенд для исследования работы СЭС

Мини-стенд для исследования работы ГЭС

Проектирование данного мини-стенда осуществлялось в два этапа: проектирование гидравлической части (гидрочасть) и проектирование электрической части.

**Гидрочасть.** Одна из важнейших составляющих всего проекта. Ее тщательное проектирование позволило в итоге реализовать нормальную работу мини-стенда. Для реализации были выбраны следующие компоненты:

-водяной насос, который находясь в емкости в с водой будет создавать необходимое в водопроводе давление, способное раскрутить лопасти турбины. Был выбран вибрационный погружной насос с верхним забором мощностью 250 Вт, работающий от 220 В.

-гидротурбина, использующая для генерации электрической энергии. Была выбрана поворотно-лопастная гидротурбина в пластиковом корпусе.

Выбор произведен из условия замкнутого водопровода с сечением трубы 20 мм. Данная гидротурбина представлена на рисунке 6.

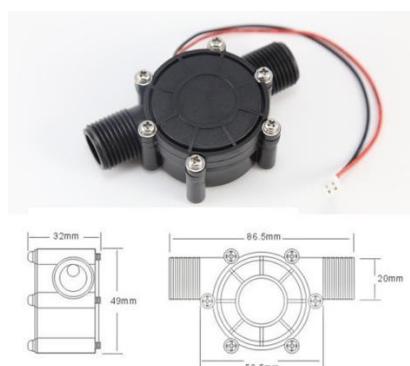


Рис.6 Поворотно-лопастная гидротурбина

-вспомогательные элементы – элементы гидрочасти, при помощи которых достигается автономность работы системы. К вспомогательным элементам относятся бак с водой, система водопровода, краны, с помощью которых происходит регулировка поступающего в гидротурбину давления. При практическом подборе сечения труб водопровода выбор был сделан в пользу 20 мм, при данном сечении труб достигается оптимальное давление в системе, что напрямую влияет на частоту вращения гидротурбины.

Электрическая часть. К данному разделу относятся контрольно-измерительные приборы, с помощью которых осуществляется фиксация тех или иных показателей, характеризующих работу ГЭС. Коммутационные аппараты, при помощи которых производится изменение схемы работы ГЭС при моделировании одной из нескольких режимов работы.

В качестве нагрузки гидротурбин были выбраны светодиодные лампы. Аккумуляторная батарея, позволяющая моделировать работу гидроаккумулирующей электростанции была выбрана с минимальной емкостью в целях уменьшения времени заряда-разряда при подключении нагрузки.

На рисунке 7 представлена панель управления получившегося министенда для исследования работы ГЭС.



### Рис. 7 Панель управления мини-стенда для исследования работы ГЭС

В ходе проведения пуско-наладочных работ были выявлено некоторые замечания проектирования, например, при поочередном подключении нагрузки к гидротурбинам, согласно проекту, не было получено видимого изменения вольт-амперной характеристики. После изменения количества подключаемых светодиодов и объединения их в группы получившиеся данные полностью удовлетворили условиям работы.

Также для оптимизации процесса работы с мини-стендом были разработаны методические указания: «Исследование работы ГЭС, работающей в нормальном режиме», «Исследование работы ГЭС, работающей в режиме заряда аккумуляторной батареи», «Исследование работы ГЭС в ходе изменения рабочего давления до аварийного и отключения одной из турбин» [4].

### Заключение

Создаваемая лаборатория предназначена не только для обучения студентов в рамках дисциплины «Возобновляемые источники энергии», что тоже немаловажно, основное ее назначение – исследование концепции виртуальной электростанции. Данная концепция подразумевает объединение нескольких источников малой генерации под управлением специального блока, который в свою очередь контролирует значение нагрузки и генерации и в необходимый моменты выполняет ту или иную операцию (например при критическом снижении значения генерации от электростанций на базе ВИЭ запускает дизельную установку). При параллельном подключении полученных мини-стендов в единую «энергосистему», возможно, будет получен ответ вопрос – рационально ли использовать ВИЭ в народном хозяйстве России [5,6]?

### Список литературы

1. Безруких П.П. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России // Под ред. П.П. Безруких, СПб: Наука, 2002. 314 с.
2. Велькин В.И. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии // Под ред. В.И. Велькина, Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. 117 с.
3. Безбородов А.В. Проектирование стенда «Исследование характеристик солнечных панелей» // А.В. Безбородов, С.Ю. Турутин Кемерово: КузГТУ, 2017. 84 с.
4. Лисицын А.В. Проектирование, монтаж и наладка стенда «Исследование характеристик солнечных панелей» // А.В. Лисицын, Кемерово: КузГТУ, 2016. 70 с.

5. Андреев В.А. Концепция применения виртуальной электростанции // В.А. Андреев, А.В. Безбородов Минск: Научно-издательский центр «Мир науки», 2018. 28 с.

6. Андреев В.А. Применение концепции виртуальной электростанции в отечественной энергетике // В.А. Андреев, А.В. Безбородов, Астана: Научно-издательский центр «Мир науки», 2018. 24 с.